

Variabilidad y Experimentación: Una aproximación desde los sistemas dinámicos
no lineales al Razonamiento Científico

Jairo Andrés Montes

Directora
Rebeca Puche Navarro Ph.D.

Universidad del Valle
Instituto de psicología
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados en Psicología, Cognición y
Cultura
Santiago de Cali
2013

A mi amigo Juan y a la exótica Holanda

TABLA DE CONTENIDOS

0. INTRODUCTION

1. REVISIÓN TEÓRICA DE LOS APORTES SOBRE EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO: ENTRE LA ANALOGÍA Y LA METÁFORA DEL NIÑO COMO CIENTÍFICO

2. VARIABILIDAD Y PATRONES DE CAMBIO INTRA E INTER-INDIVIDUALES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA EXPERIMENTACIÓN EN NIÑOS.

3. TRAYECTORIAS EN EL MICRO-DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO: UN ABORDAJE NO-ERGÓDICO

4. MICRODESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA EXPERIMENTACIÓN EN NIÑOS: ATRACTORES Y VARIABILIDAD EN EL DESARROLLO COGNITIVO.

5. BALANCE

INTRODUCCIÓN.

Este estudio explora el pensamiento científico desde la teoría de sistemas dinámicos no lineales con un diseño microgenético. El objetivo es aportar conocimiento que permita avanzar en la comprensión del micro-desarrollo del pensamiento científico a través del funcionamiento de la experimentación del niño en tiempo real.

El trabajo está organizado en la forma de capítulos auto-contenidos y separados, pese a que abordan un mismo problema central. El primer capítulo es teórico y los tres restantes (2, 3 y 4) empíricos. Los tres capítulos empíricos utilizan las mismas unidades de análisis y medidas (niveles de funcionamiento de la experimentación e índices de error) a partir del desempeño de los niños en el mismo conjunto de tareas de objetos en movimiento. El capítulo 2 analiza una muestra de 37 niños, mientras que en el caso del capítulo 3 y 4 analizan un mismo conjunto de datos en la forma de análisis de casos ($n=4$).

En el primer capítulo se exponen las principales cuestiones teóricas relativas al desarrollo del pensamiento científico a partir de una revisión de la literatura. El objetivo de esta revisión es trazar un estado del arte en este campo con el fin de identificar los avances, las limitaciones, y las posibilidades que permitan una articulación con los sistemas dinámicos no lineales (SDNL) y sentar las bases para la comprensión del funcionamiento cognitivo de la experimentación como un proceso dinámico.

En el segundo capítulo se profundiza en la definición conceptual del funcionamiento cognitivo de la experimentación por medio del estudio de las regularidades que subyacen a ésta y a la variabilidad que caracteriza al pensamiento científico. Este capítulo explora si la experimentación corresponde a un proceso complejo con trayectorias variables tanto a nivel inter como intra sujeto. Además se indaga por la posible presencia de patrones generales en las trayectorias de desempeños de los niños. Metodológicamente esto se realiza haciendo uso de técnicas de "clustering" (algoritmo de agrupamiento) y

comparaciones clásicas transeccionales entre tareas, aplicadas a los datos correspondientes a las trayectorias que describen los promedios de índice de error y de niveles de experimentación de 37 sujetos participantes en tres tareas, diseñadas como situaciones de resolución de problema con sistemas de objetos en movimiento.

En el tercer capítulo se describe el micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación a partir de un diseño de investigación microgenético. El enfoque toma en cuenta la no ergodicidad del desarrollo. Se profundiza en la identificación de los patrones de cambio presentes en las trayectorias de micro-desarrollo, así como también en la identificación de la presencia de transiciones entre diferentes niveles de funcionamiento. En el análisis se describen las trayectorias longitudinales del desempeño (niveles de experimentación e índices de error) con ayuda de la técnica de alisamiento Loess (Loess smoothing), y se exploran las diferencias entre tareas a partir del método de Montecarlo.

En el capítulo cuatro se aborda el problema de la variabilidad en el interior de los procesos de micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación. Esto se realiza con el fin de identificar la relación que existe entre dicha variabilidad y la tendencia del sistema cognitivo a gravitar en torno a determinadas zonas de atractores. Se intenta caracterizar a partir de estas zonas de atractor, el funcionamiento cognitivo en relación con las demandas que suponen las tareas de experimentación. Posteriormente se recurre al análisis de Rejillas de Estado de Espacio (State Space Grids) y de Gráficas de Mínimos y Máximos. La primera de estas técnicas permite la identificación de patrones de variabilidad. Las Gráficas de Mínimos y Máximos hacen posible identificar los diferentes rangos de variabilidad que subyacen al desempeño de los sujetos. Las descripciones detalladas del despliegue del funcionamiento de la experimentación en una escala corta de tiempo, ligada a la acción real, y la descripción en una escala de tiempo larga (5 meses), contribuyen a la comprensión de la naturaleza dinámica de la experimentación, y de la forma en que se desarrolla en los niños.

En términos metodológicos, la combinación de un diseño transversal (capítulo 2) y uno longitudinal (capítulos 3 y 4), permite el abordaje de problemas recurrentes en el estudio de la psicología del desarrollo, tales como el de la variabilidad inherente al desarrollo cognitivo, y la naturaleza del cambio cognitivo, sea éste continuo o discontinuo. Estas descripciones complementarias constituyen pasos hacia una mejor comprensión del carácter complejo y dinámico que ha sido identificado como propio de los procesos cognitivos vinculados a la experimentación.

Con estos análisis se pretende contribuir a la caracterización de las dinámicas relativas al micro-desarrollo de la experimentación, más allá de aproximaciones lineales y acumulativas. Se pretende identificar dentro de estas dinámicas propiedades de los sistemas dinámicos tales como la auto-organización y la tendencia a oscilar entre diversas zonas de atractor débilmente ensambladas. La idea es sentar las bases para posteriores estudios que se dirijan a ahondar en la exploración del pensamiento científico como sistema dinámico no lineal y complejo, a través de métodos microgenéticos

CAPÍTULO 1. REVISIÓN TEÓRICA DE LOS APORTES SOBRE EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO: ENTRE LA ANALOGÍA Y LA METÁFORA DEL NIÑO COMO CIENTÍFICO

Esta revisión en la que se presentan los diferentes conceptos que han sido establecidos desde diversos modos de abordaje de la problemática del pensamiento científico, tiene como objeto establecer un estado de la cuestión que sirva de base para el estudio de su desarrollo en edades tempranas. Esta problemática ha girado alrededor de un debate que hace muchos años sintetizó Puche-Navarro (2001) cómo dos conceptualizaciones desde las cuales se abordaba el estudio.

La primera se caracteriza por abordar el estudio del niño a partir del pensamiento científico formalizado, y presenta una concepción e **interpretación analógica** de la expresión “el niño como científico”. En esta concepción se exploran las competencias y capacidades que los niños muestran para realizar operaciones y procedimientos cognitivos expertos, complejos y sofisticados, similares a los que caracterizan a los científicos en sus prácticas profesionales. En general, este abordaje hace especial énfasis en las verbalizaciones. Se asume que para hablar de pensamiento científico, es necesario que los niños sean capaces de comunicar de manera explícita las operaciones llevadas a cabo.

La otra perspectiva, llamada metafórica, asume que al hablar del niño como científico, no se hace referencia a una capacidad formalizada de éste para llevar a cabo prácticas científicas especializadas. Por el contrario, se aborda la expresión “el niño como científico” como una **metáfora**, cuyo valor heurístico radica en que abre la posibilidad de estudiar el desarrollo cognitivo temprano de las operaciones y actividades propios del pensamiento científico. En este segundo sentido, el pensamiento científico puede definirse como un funcionamiento cognitivo auto-dirigido, y caracterizado por la construcción de inferencias, las cuales están basadas en evidencia, y se apoyan en modelos del mundo a partir de los cuales

los sujetos categorizan los datos relativos a los fenómenos con los que interactúan. Desde este enfoque se busca un tipo funcionamiento, en el que los sujetos descubren patrones y regularidades, bajo la forma de relaciones legales, que se establecen entre las variables causales que subyacen al funcionamiento de un sistema. Este tipo de funcionamiento cognitivo implica el uso de habilidades complejas como las que permiten al sujeto: identificar las variables causales presentes en el sistema; predecir el resultado de las posibles formas en que éstas son susceptibles de interactuar y distinguirlas de las no causales; interpretar los datos disponibles, y realizar comparaciones controladas de modo que se pueda establecer su valor de evidencia.

En estudios previos (Puche-Navarro, 2000; Puche-Navarro, 2003; Puche-Navarro, Colinvau & Dunbar, 2001) se ha estudiado el pensamiento científico en el niño, desde la aparición de ciertos funcionamientos cognitivos como la inferencia, la planificación, la clasificación. En esa línea se plantea que la planificación, la inferencia y la formulación de hipótesis, forman parte del conjunto de funcionamientos cognitivos que permiten hablar de la presencia del pensamiento científico en el niño pequeño (Puche-Navarro, 2005).

El hacer uso de esta modalidad del funcionamiento cognitivo, implica una actividad cognitiva organizada y auto-dirigida hacia el entorno (Sobel & Munru, 2009; Ordoñez, 2003; Zimmerman, 2000; Zimmerman, 2007). Se parte de que los niños alcanzan una temprana comprensión, que es coherente y estable, acerca del mundo que los rodea.

En apoyo de una concepción metafórica del niño como científico Wilkening y Sodian (2005) señalan que muchas de las investigaciones de resolución de problema de los últimos 30 años indican que los niños en edad pre-escolar poseen un conocimiento conceptual coherente. También poseen distintos marcos explicativos en los dominios de la física, la biología, y el psicológico o mental. De acuerdo con Kuhn (2002) este funcionamiento cognitivo temprano, al contrario del pensamiento científico formal, ocurre de modo implícito y sin requerir esfuerzo; es decir, sin una consciencia explícita o intención. Los niños pequeños piensan

con sus teorías, más que acerca de ellas. En el transcurso de dicha actividad pueden revisar estas teorías, pero no están conscientes de que lo están haciendo (Kuhn, 2002).

Múltiples estudios han afirmado que los niños hacen uso del pensamiento científico durante situaciones de resolución de problema (Koerber, Beate, Sodian, Thoermer, & Nett, 2005; Wilkening & Sodian, 2005; Puche-Navarro, 2010, 2011; Puche-Navarro et al., 2001). Esto implica que son capaces de:

“Construir conocimiento basado en actividad mental caracterizada por la formulación de hipótesis, la postulación de causas y sus relaciones con los efectos que de éstas provienen o, en otras palabras, la información e interpretaciones que pueden ser realizadas sobre la base de los hechos en una cierta dirección.” (Ordoñez, 2003, p. 45)

Gopnik (2004) indica que uno de los problemas más relevantes en la actualidad para la ciencia del desarrollo cognitivo no es responder a la pregunta ¿qué es lo que los niños conocen y cuándo lo conocen?, sino ¿por qué las teorías de los niños convergen hacia descripciones adecuadas del mundo? Esta idea contradice las posturas analógicas según las cuales se asume el funcionamiento cognitivo temprano como fundamentalmente deficiente al ser examinado en términos de un razonamiento científico formal. Esta postura es debatida en varios estudios con niños de escuela elemental (Koerber et al., 2005).

Aunque se pueda suponer que los mecanismos de construcción del conocimiento de los niños son de un carácter análogo a los que subyacen a los del pensamiento científico formalizado y adulto. No obstante, esto no agota el problema, haciéndose necesario establecer cuáles son los procesos que determinan dicha construcción y cómo operan de manera particular en ambos casos.

En adelante este texto se centra en la exploración de la literatura para identificar los aspectos del pensamiento científico, que permitan generar una caracterización de la forma como éste se manifiesta, y que eventualmente permitan avanzar en la comprensión de las dinámicas reales de su desarrollo. Las preguntas clave a las que se pretende dar respuesta con dicha exploración son las siguientes:

Cuando se habla de pensamiento científico en niños de edad pre-escolar, ¿De qué clase de proceso se está hablando?, ¿cómo se desarrolla dicho proceso?, ¿Es posible encontrar un reflejo de la actividad científica formal en los niños o es necesario abordarlo como un fenómeno con una naturaleza propia? De ser así: ¿Es posible caracterizar este proceso como un sistema dinámico?

Antes de abordar estas preguntas, es prudente señalar que la revisión aquí presentada solo examina las investigaciones desde el punto de vista del pensamiento científico. Un abordaje más ambicioso, que desarrollara las perspectivas de los autores desde el marco más amplio del pensamiento en general, sería sumamente valioso. No obstante, esto sobrepasa las posibilidades actuales de este trabajo. Con este objetivo, se presenta una revisión crítica de investigaciones acerca del pensamiento científico. La exploración se llevará a cabo para las perspectivas analógica y metafórica.

Al realizar la revisión, tres categorías que permiten caracterizar el pensamiento científico emergieron como regularidades sin importar el abordaje. Estas categorías permiten agrupar y clasificar gran parte de las investigaciones en pensamiento científico en edades tempranas. La primera tiene que ver con la importancia del control de las variables, la segunda con la evaluación de la evidencia y la última con el razonamiento causal. Las tres categorías y el avance desde la postura metafórica sobre el pensamiento científico, establecen las bases para entender la experimentación como un funcionamiento cognitivo complejo y multivariado. Esto hace pertinente su abordaje desde una perspectiva de sistemas dinámicos apoyada en una metodología de tipo microgenético.

El método microgenético permite rastrear minuciosamente, y momento a momento, en tiempo real, las trayectorias de desarrollo que describen los procesos cognitivos relativos al cambio conceptual en niños de edad pre-escolar en el marco de la experimentación.

Una revisión bibliográfica desde el pensamiento científico como analogía.

El control de variables desde la analogía.

El estudio del pensamiento científico se caracteriza por abordarse como un sistema en el que interactúan diversas variables. Cuando alguien actúa como científico trata de comprender dicha interacción, estableciendo modelos acerca del funcionamiento del sistema.

La concepción analógica se podría caracterizar por enfatizar el control de variables y en consecuencia privilegia el estudio de la habilidad de los niños en aislar dichas variables. Metodológicamente es entonces frecuente el uso de diseños a partir de los cuales se estudia la habilidad de los niños para diseñar experimentos válidos.

Desde el abordaje analógico, algunos autores (Schauble, 1991, Chen y Klahr, 1999; Gleason & Schauble, 2000; Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992; Sodian, Zaitchik & Carey, 1991) ponen el énfasis en el aislamiento de variables. En este enfoque se evalúa la habilidad del sujeto para diseñar experimentos concluyentes semejantes a los que construiría un científico, y se afirma que bajo condiciones ideales, el pensamiento científico debería producir evidencia u observaciones interpretables. Esto se realizaría a partir del aislamiento de variables, que hace más fácil el proceso de evaluación durante una resolución de problema, y sirve al establecimiento de hipótesis consistentes (Zimmerman, 2000).

Un criterio de la existencia de pensamiento científico desde esta perspectiva es la capacidad de diseñar experimentos concluyentes. Sodian et al., (1991), afirman que entre los niños de 6 a 9 años, son pocos los que pueden diseñar experimentos concluyentes, estableciendo por ellos mismos condiciones que les permitan recuperar evidencia válida. Para que los niños hagan un uso científico de la evidencia y diseñen experimentos válidos sería necesario que fueran capaces de manipular adecuadamente los valores de las variables que afectan el sistema. Estudios clásicos de este abordaje son los trabajos de Schauble (1991), y de Chen y Klahr (1999), quienes utilizan tareas con objetos en movimiento que involucran la manipulación de variables por parte de los niños que experimentan.

En la tarea correspondiente al trabajo de Schauble, la cual ha sido utilizada con diversos fines en múltiples investigaciones (Schauble, Glaser, Raghavan & Reiner, 1991; Gleason & Schauble, 2000; Kuhn et al., 1992) se emplea un modelo de canal lleno con agua, y seis pequeños botes de madera. El objetivo es que el niño determine qué características del bote y del sistema del canal, afectan el tiempo que le toma al bote ser arrastrado a través del canal por un peso al cuál lo conecta un sistema de poleas. Esta tarea permite realizar el análisis de los procesos de revisión de teoría y cambio de estrategia a través de diferentes dominios, con el objetivo de distinguir entre las competencias de razonamiento de los contextos de dominio específico. Así mismo, ha servido en otros casos para la evaluación de la manera en que padres e hijos interactúan durante la realización de una tarea de resolución de problema, en la cual los padres no son expertos.

Schauble (1991) estaba interesada en explorar la manera en que los niños interactúan con experimentos científicos, sobre la base de la hipótesis de que al hacerlo, recurrían alternativamente, ya fuera a un modelo de experimentación similar al de la ciencia, o al de los ingenieros. Este último modelo se caracteriza porque gira en torno a la manipulación de variables para conseguir un resultado deseado. La muestra estuvo compuesta por 16 niños entre el quinto y el sexto año de escuela elemental. Entre los resultados destaca el hecho de que después de seis sesiones de 40 minutos, el grupo presentó un aumento importante en los porcentajes de inferencias válidas sobre las variables que integraban el sistema. El modelo de experimentación científica apareció, en este contexto, como asociado con una exploración más amplia y selectiva de la evidencia, y con un mayor énfasis en el funcionamiento cognitivo relacionado con la identificación de cuáles eran las variables no causales. En síntesis, este estudio aporta evidencia acerca de que los niños en edades escolares están capacitados para aislar adecuadamente variables en el marco de la experimentación científica. No obstante, su aproximación parte de un modelo adulto como punto de comparación con el pensamiento científico de los niños. El tipo de aproximación analógica de este estudio no permitiría descompactar el funcionamiento científico de los niños y por ende de recuperar muchos de sus avances tempranos.

Por su parte, en uno de los estudios más relevantes en el área, Chen y Klahr (1999) buscaban explicar la manera en que los niños (entre los 7 y los 10 años), adquieren una estrategia de procesamiento de dominio general (estrategia de control de variables o CVS), y la generalizan a lo largo de múltiples contextos (Chen & Klahr, 2008). En estos estudios, el aislamiento de variables fue concebido como una estrategia de procesamiento de dominio general que sirve al diseño de experimentos válidos (Chen & Klahr, 2008). Así mismo, se afirma que la estrategia de control de variables es una habilidad fundamental para generar una evaluación conclusiva para una hipótesis durante un proceso que involucra el pensamiento científico (Chen & Klahr, 2008). La estrategia de control de variables incluye la habilidad para hacer inferencias apropiadas a partir del resultado de experimentos bien estructurados, y de la comprensión de la indeterminación inherente a los experimentos no completamente estructurados (Chen & Klahr, 2008). La concepción trabajada implica una equiparación entre el control de variables y el aislamiento de variables. Se plantearon 3 tareas similares (Estiramiento de resortes, Hundimiento de objetos sólidos en líquidos, desplazamiento de objetos en planos inclinados), cada una con 4 variables que podían asumir dos valores posibles¹. Las tareas exigían a los participantes enfocarse en un resultado que fuera afectado por las cuatro variables. Los niños debían equiparar los valores de las tres variables no objetivo para establecer una comparación válida entre dos condiciones experimentales, aislando una variable, y por ende obteniendo un resultado concluyente acerca de la incidencia de dicho valor sobre el resultado final del experimento. El objetivo era lograr comparaciones válidas entre las rampas a partir del aislamiento de variables. Los desempeños fueron evaluados a partir de puntajes determinados en función del número de comparaciones válidas.

Además se encontró que, en este contexto, la instrucción directa acerca del aislamiento de variables es efectiva y posibilita la transferencia de conocimiento entre diferentes tareas y dominios. Se demostró también que los niños de cuarto grado son capaces de transferir, después de un lapso de 7 meses (tras la

¹ Estas tareas han sido utilizadas desde entonces en múltiples investigaciones sobre diferentes aspectos del razonamiento científico.

situación de aprendizaje original), la estrategia para diseñar experimentos válidos que implicaban el control de múltiples variables.

La perspectiva de Chen y Klahr ha sido explorada ampliamente con base en múltiples preguntas de investigación. Entre estas preguntas se destacan aquellas relativas a las influencias de formatos digitales versus formatos físicos en el uso de la estrategia de control de variables (Triona & Klahr, 2003), a las consecuencias a corto y largo plazo de diferentes tipos de instrucción (Strand-Cary & Klahr, 2008), y las consecuencias de la instrucción directa en salones de clase con logros altos y bajos (Lorch, Lorch, Canderhead, Dunlap, Hodell & Dunham Freer, 2011). Estos estudios muestran la fuerte relación entre este concepto y la instrucción explícita en ciencia. Esta aproximación dicotómica al pensamiento científico es propia de una perspectiva analógica. Su limitación consiste en impedir un acceso real al funcionamiento cognitivo. Esto se debe a que se centra en las respuestas y en los resultados del desempeño del niño más que en las dinámicas de su funcionamiento cognitivo.

Esta clase de abordajes, ejemplificados por el trabajo de Schauble et al (1991) y Chen y Klahr (1999) se caracterizan por ser de tipo externalista, es decir que observan los desempeños desde un modelo externo y dicotómico (éxito-fracaso), limitándose a la exploración de las estrategias que utilizan los sujetos en el transcurso de sus procesos de control de variables. Dicha perspectiva ha sido particularmente hegemónica en el campo del pensamiento científico, y ha guiado favorablemente gran parte de la investigación dedicada a la estrategia de control de variables (CVS) (Kuhn, 2007).

En términos generales el abordaje desde la concepción analógica del control de variables, equipara control con aislamiento de variables. Pese a que el aislamiento de variables es un componente importante en el marco del pensamiento científico, el mismo se plantea como necesario pero no suficiente para la comprensión del control de las variables. Debido a que la perspectiva analógica asume de manera bastante focalizada que la aproximación al control de variables es a través del estudio del aislamiento de variables. Las consecuencias metodológicamente se

limitan a demandar a los niños la construcción de experimentos válidos. Dichos experimentos simplifican demasiado el pensamiento científico, constituyéndose en una analogía restringida de un modelo de ciencia formalizado y adulto. Este modelo simplificado de ciencia formalizado, no toma en cuenta una aproximación más natural y organizada que pueden tener las personas y en especial los niños para la comprensión de los fenómenos complejos del mundo. En efecto, en muchos casos ni siquiera la ciencia formalizada puede limitarse al diseño de experimentos válidos a partir de un aislamiento de variables para el abordaje de problemas multi-causales y difusos.

Complementariamente habría que decir que, el control de variables desde la perspectiva analógica deja por fuera el abordaje de fenómenos multi-causales, interdependientes y/o probabilísticos. Fenómenos que como se verán desde la perspectiva metafórica, pueden ser comprendidos por los niños, más allá de la formalización en términos de experimentos bien o mal diseñados.

Evaluación de evidencia desde un abordaje analógico.

La evaluación de múltiples factores causales que determinan un mismo evento se considera parte integral de la habilidad de los niños pequeños para interpretar y evaluar datos, identificando la manera en que pueden servir como evidencia. Este tipo de funcionamiento se denomina tradicionalmente en la literatura como evaluación de evidencia. El análisis de la evaluación de evidencia ha sido en términos generales, también bastante hegemónicamente analógico. Gran parte del conjunto de investigaciones al respecto parten de la comparación del funcionamiento cognitivo de los niños con los funcionamientos científicos formales.

En un estudio representativo de este abordaje. Kuhn y Pease (2008b) exploran la forma en que se desarrollan las habilidades relacionadas con la experimentación en estudiantes del 4 al sexto grado. Esta investigación describe la evaluación de evidencia como un conjunto de actividades dirigidas a determinar los elementos que pueden ser clasificados como evidencia e identificar patrones a partir de la

misma; realizar comparaciones controladas; interpretar datos cada vez más complejos (que incluyen efectos probabilísticos e interaccionales) (Kuhn & Pease, 2008). La investigación de Kuhn y Pease (2008b), encontró un nexo entre evaluación de evidencia y evaluación de hipótesis, la cual implica, por parte del sujeto la capacidad de extraer conclusiones justificadas (a partir de los datos de que dispone), y de inhibir las injustificadas. El establecimiento de dicha relación demanda procesos de naturaleza metacognitiva sobre las acciones llevadas a cabo, que permita al sujeto **justificar sus afirmaciones**. Se concluyó que en el desarrollo de las habilidades de pensamiento científico es importante la experiencia continuada de ambientes científicos, así como también la guía y el andamiaje por parte de adultos expertos.

El estudio de Kuhn y Pease (2008), presentó una estructura del pensamiento científico desde una concepción analógica del niño como científico. Al igual que los trabajos presentados en el abordaje del control de variables desde la analogía, se hace énfasis en el diseño de experimentos válidos, a partir del uso de variables dicotómicas, desde el punto de vista de una práctica científica formalizada, no parece interesado en la manera en que las habilidades cognitivas descritas se manifiestan en edades tempranas.

Otros estudios desde la perspectiva analógica, también hacen énfasis en la necesidad de guía adulta. Esta guía adulta es una condición sin la cual no es posible la puesta en marcha de funcionamientos cognitivos complejos, específicamente para evaluación de la evidencia. En un ejemplo de este énfasis, Chen y Klahr (2008), realizaron un estudio que exploró la forma en que la indeterminación afectaba el funcionamiento de los niños durante sus procesos de evaluación de evidencia. Estos autores hicieron uso de tres tareas isomorfas, en las que los niños debían identificar en un conjunto de cajas, en cuál de estas se encontraba oculto el objeto con el que se había llevado a cabo una acción sobre papel (dibujo de la imagen objetivo). Se concibió a la evaluación de la indeterminación como la habilidad para distinguir entre evidencia determinada e indeterminada (Chen & Klahr, 2008). Según los autores, esta habilidad es un pre-

requisito para entender la lógica de las relaciones entre evidencia y teoría, y la diferencia entre experimentos correctamente estructurados y experimentos no completamente estructurados (Chen & Klahr, 2008). Se encontró que los niños de 4 años pueden dar cuenta de la indeterminación presente en los datos a su disposición, **si cuentan con una guía explícita adulta**, pero que les resulta difícil hacerlo por sí mismos. Algo similar ocurrió con los niños de cinco años, quienes, no obstante, mostraron una mayor tendencia a generalizar de manera eficaz las estrategias previamente aprendidas cuando recibían guía por parte de adultos. Los resultados evidencian que los niños en edades pre-escolares están en capacidad de realizar operaciones complejas de pensamiento científico. No obstante, el andamiaje ejercido por medio de la intervención adulta es necesario para que puedan mejorar su funcionamiento en la resolución de problemas, de modo que su desempeño sea más parecido al que caracterizaría, analógicamente, a un científico profesional.

Es posible plantear que el estudio de Chen y Klahr (2008), avanza en comparación al trabajo de Kuhn y Pease (2008), en términos de ir más allá del uso de variables dicotómicas, explorando evidencia indeterminada. No obstante, también se puede señalar que sigue teniendo un fuerte énfasis en compararlo bajo la forma como los adultos expertos pueden jalonar desempeños deseables bajo una mirada científica formal. En este punto es importante aclarar que la posición planteada en este texto no critica las posibilidades generadas por el andamiaje adulto; sino que prefiere conocer las posibilidades de la identificación de funcionamientos cognitivos espontáneos tempranos como parte del marco de comprensión de la emergencia del pensamiento científico.

Existe otro aspecto recurrente en el análisis de la evaluación de evidencia desde la perspectiva analógica. Las investigaciones desde esta perspectiva hacen un fuerte énfasis en los contextos escolares. Un ejemplo de este énfasis se encuentra en la investigación realizada por Lehrer, Schauble y Lucas (2008). En ésta se abordó el pensamiento científico por medio de un proyecto escolar de ciencias naturales (guiado por el profesor de la asignatura) dirigido a generar comprensión,

por parte de 11 niños y 12 niñas participantes (estudiantes de sexto grado), sobre la ecología de pozos de su localidad. En este estudio la evaluación de evidencia se realiza a través del diseño y estudio de modelos científicos. Esta actividad implica la capacidad para explicitar preguntas de investigación adecuadas, identificar los datos que cuentan como evidencia, y realizar inferencias correctas a partir de esos datos (Lehrer et al., 2008). Entre los hallazgos se hace énfasis en como la socialización y comparación recurrente de los hallazgos, las hipótesis y las dificultades que se encuentran a lo largo del proceso, ayuda a los estudiantes a aumentar su comprensión de aspectos fundamentales del pensamiento científico, tales como el establecimiento de criterios que permitan realizar buenas preguntas científicas, e identificar y seleccionar evidencia confiable.

Al igual que en el caso de los trabajos de Chen y Klahr (2008) y de Kuhn y Pease (2008), la incidencia de la guía por parte de un adulto es un factor importante para la selección de los datos y la decodificación y valoración de la evidencia. Dado el énfasis en el análisis de las verbalizaciones de los sujetos de sus procesos de razonamiento, y en el modelo de experimento válido desde una perspectiva adulta que fue presentado, este estudio puede clasificarse dentro de una perspectiva analógica del pensamiento científico.

Junto con la incidencia de la guía adulta, la resistencia de los sujetos para transformar las concepciones previas a partir de nuevos datos ha sido un foco de interés recurrente dentro de la perspectiva analógica. Los autores (Chinn & Malhotra, 2002) identificaron los procesos cognitivos específicos que están en relación con dicha resistencia. Para esto se tuvo en cuenta a la observación, la interpretación, la generalización y la retención de la evidencia. Se examinó la manera en que los estudiantes evaluaban datos científicos de tipo anómalo, los cuales aparecían como contradictorios en relación con sus creencias a propósito de las regularidades empíricas características de los fenómenos observados. Los resultados confirmaron los hallazgos de otros estudios (ver Chinn & Brewer, 1993, 2000), que evidencian la resistencia de muchos niños a modificar sus creencias como respuesta a datos observacionales anómalos. Los autores atribuyen esta

dificultad en el cambio conceptual a dos factores. El primero tiene que ver con las expectativas incorrectas de los niños basadas en su conocimiento previo. El segundo es atribuible a las dificultades que experimentan los niños para llevar a cabo observaciones correctas. En contraste, se encontró que los niños abordan adecuadamente el problema cuando elaboran observaciones correctas sobre datos que muestran regularidades, y están dispuestos a cambiar sus creencias cuando las observaciones les aportan datos concluyentes. Esto problematiza las concepciones que ven a los niños de escuela elemental como altamente resistentes al cambio de sus creencias cuando se les presenta evidencia disconfirmatoria, o como incapaces de distinguir entre creencia y evidencia.

En síntesis, la evaluación de evidencia en respuesta a datos científicos anómalos está en relación con la capacidad para observar correctamente (al margen de las expectativas y las creencias previas del sujeto) los datos, interpretarlos, generalizarlos y retener en la memoria la valoración que de estos se ha llevado a cabo durante la realización del ejercicio de experimentación (Chinn & Malhotra, 2002).

En términos generales, los estudios sobre la evaluación de evidencia desde el abordaje analógico brindan aportes importantes para la comprensión del desarrollo del pensamiento científico. Dichos estudios han ampliado la comprensión en cuanto a cómo los niños generan conclusiones justificadas a partir de la evidencia, como abordan evidencia indeterminada y datos anómalos, y cómo presentan en algunas ocasiones, una resistencia a transformar su conocimiento previo a partir de la evidencia. Todos estos aspectos son relevantes a la hora de caracterizar la evaluación de evidencia para interpretar datos e información sobre un fenómeno a comprender desde el marco del pensamiento científico. No obstante presentan limitaciones con relación a sus énfasis en las verbalizaciones, el trabajo escolar, la necesidad de andamiaje adulto y la construcción de experimentos válidos (en términos del trabajo científico formal). Dichas limitaciones tienen que ver con que resultan un tanto insensibles a dar cuenta de funcionamientos más tempranos y establecen una cierta mirada o cierto carácter deficitario en los niños pequeños.

Los niños pequeños podrían describirse como en falta en contraste con lo esperado en un modelo científico formal dejando de lado las posibilidades de describir la emergencia temprana de pensamiento científico, complejo y auto-dirigido, aunque no siempre explícito.

Razonamiento causal desde la perspectiva analógica

El estudio de la forma en que los sujetos identifican las relaciones causales de un fenómeno ocupa un lugar importante en los estudios sobre pensamiento científico. Esto se realiza por medio del razonamiento causal, que se concibe como una actividad cognitiva compleja que implica la descripción y comprensión de múltiples relaciones causales.

Para Koslowski y Masnick (citados por Goswami, 2008) el razonamiento causal envuelve el aprendizaje acerca de relaciones empíricas en el mundo. Esto incluye el aprendizaje sobre posibles agentes causales, mecanismos causales plausibles, y acerca de la red de información colateral o de apoyo en la cual las relaciones causales están insertas.

A propósito de las diferentes modalidades de razonamiento causal de que hacen uso los niños para realizar este tipo de actividad, Griffiths, Sobel, Tenenbaum y Gopnik (2011) plantean que históricamente las teorías acerca de la inducción causal pueden ser categorizadas en dos perspectivas. La primera de dichas perspectivas está basada en el tipo de aproximaciones que se centran en la covariación - el grado en el cual dos variables cambian juntas a través de diferentes contextos-. Desde este enfoque la inducción causal es caracterizada como la consecuencia de un mecanismo de dominio general que permite establecer una covariación entre causa y efecto.

El estudio de Chinn y Brewer (2012), que adscribe a la covariación, afirma que existe un extenso cuerpo de investigación acerca de cómo la gente evalúa información en covariación (Amsel y Brock, 1996; Anderson & Kellam, 1992;

Cheng, 1993; Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1988; Shaklee & Elek, 1988), es difícil encontrar estudios más recientes en los que se haya profundizado en la explicación de este componente del pensamiento científico. Una excepción a esta observación se da a partir del trabajo de Sobel y Munru (2009), los cuales han revelado que los niños realizan inferencias basados en datos de co-variación entre diferentes eventos determinados por la interacción de múltiples variables. La segunda aproximación se enfoca en el conocimiento previo que poseen los sujetos acerca de los mecanismos causales. Según Griffiths (2011), la actividad de razonamiento causal de los niños se basa tanto en la evidencia como en el conocimiento previo del que se hace uso para realizar inferencias causales. Así se constituye una visión del niño que resulta más poderosa en términos de su capacidad para identificar regularidades en el mundo que lo rodea, y para aprender a partir de la detección de dichas regularidades. Tanto la covariación como el uso del conocimiento previo a la manera de mapas causales son un buen punto de entrada para la comprensión del pensamiento científico. Dado que el pensamiento científico, es un proceso dirigido a la identificación de regularidades dentro de un fenómeno, no se puede desligar de la necesidad de la puesta en marcha del razonamiento causal y de los funcionamientos inferenciales relacionados con dicho razonamiento.

Pese a hacer énfasis en la importancia de la co-variación y en los mapas causales previos en la identificación de nuevas relaciones causales, este tipo de estudio se considera dentro de la perspectiva analógica. Esto se debe a que en muchos de los estudios desde esta perspectiva se ven marcadas por la presencia de concepciones a las que subyace un modelo desde el cual el niño debe establecer relaciones formalizadas desde una perspectiva adulta.

Un ejemplo de esta limitación se puede describir en el estudio de Zhu y Gigerenzer (2006). Los autores recurrieron a situaciones que plantean problemas bayesianos, con el fin de considerar la presencia o ausencia de la habilidad de razonamiento bayesiano en niños pequeños (entre los 9 y los 11 años). Durante la aplicación de estos problemas bayesianos en formato evaluativo, los niños

debían consignar por escrito el porcentaje de personas que miente en una determinada circunstancia, marcando los valores empleados en la resolución del problema. Además, debían explicitar sus estrategias y procedimientos de modo verbal. Se encontró que los niños pueden razonar sistemáticamente de manera bayesiana. Sin embargo, el hecho de que en este caso el estudio del razonamiento bayesiano haya sido llevado a cabo con base en el pensamiento formal en niños de 9 a 11 años, no permite avanzar en la exploración de la forma en que el razonamiento causal aparece o se desarrolla en edades tempranas. El nivel de conocimiento matemático implicado en los problemas propuestos a los niños participantes no resulta adecuado para tratar de comprender cómo funcionaría esta habilidad en niños pequeños, e incluso aún no escolarizados. Por último, la metodología utilizada restringe el desempeño de los niños en lugar de propiciar su razonamiento, en la medida en que la tarea tiene el carácter de algo externo al sujeto, aplicado con la intención de conocer si responde o no de manera adecuada.

También aquí habría que decir que, no obstante sus limitaciones, este trabajo es interesante en la medida en la que al igual que Sobel y Munru (2009), abordan la causalidad más allá de una simplificación en términos de un problema simple de causa y efecto. Por el contrario integran la exploración de problemas multicausales. El abordaje de la multicausalidad, pese a ser un avance interesante dentro de la perspectiva analógica del pensamiento científico, sigue siendo generalmente explorada desde una mirada formalizada. Tal y como lo señala Kuhn, et al (2009), la mayor parte de los estudios acerca de la habilidad para razonar sobre los efectos de múltiples factores causales están basados en adultos. Estos estudios tienden a asumir que la habilidad para simultáneamente considerar e integrar los efectos causales de múltiples variables es propia de la edad adulta (Kuhn et al., 2009)

Resulta complejo establecer un balance general sobre el razonamiento causal desde la perspectiva analógica, probablemente debido a la relativa hegemonía de la perspectiva metafórica sobre este componente. En términos generales, y como

ha sido mencionado es importante reconocer la importancia de la covariación y de los mapas causales para la caracterización del pensamiento científico. Además es pertinente reconocer una tendencia al examen de problemas multivariados que trascienden una aproximación simplista de los fenómenos abordados por el conocimiento científico. No obstante, es todavía evidente un énfasis en un modelo adulto para evaluar el funcionamiento científico. De alguna forma todavía se pretende ajustar los desempeños de los niños a los modelos formales, más que comprender las dinámicas propias de los funcionamientos tempranos de los niños.

Una revisión bibliográfica desde el pensamiento científico como metáfora.

El control de variables desde la metáfora.

Como se señaló en los apartados anteriores, el control de variables aparece como un componente central para la caracterización del pensamiento científico. En el caso de la metáfora, se estaría ampliando la idea del control de variables, trascendiendo su equiparación con el aislamiento de variables y en cambio se podría hablar de la coordinación de efectos de múltiples variables. Este avance es a su vez consecuente con los planteamientos de Kuhn (2007), quien en términos del control de variables, cuestiona si la estrategia de aislamiento de variables es totalmente crítica para los niños en lo que concierne al desarrollo del pensamiento científico. Según esta autora, el pensamiento científico acerca de fenómenos que son el producto de múltiples variables excede las posibilidades explicatorias de la estrategia de aislamiento de variables. Esta última perspectiva abre la posibilidad de trascender las concepciones analógicas por medio del reconocimiento de la estructura multivariada de los problemas científicos, y de la complejidad de las interacciones que tienen lugar en el marco del pensamiento científico.

Un ejemplo de las posibilidades se puede encontrar en el trabajo de Kuhn y Pease (2008), quienes exploran la capacidad para identificar las influencias causales y no causales de múltiples variables (y realizar predicciones sobre resultados en contextos multivariados). Dicho estudio se realizó a partir de tres tareas apoyadas

por computador que permitían el experimentar a estudiantes de colegio entre el cuarto y el sexto grado. Dentro de esta concepción de control de variables se encontraría en estrecha relación con la habilidad de los sujetos para integrar la información de múltiples variables para predecir resultados (Kuhn & Pease, 2008). Junto con esta habilidad, es también posible evidenciar cómo los sujetos son capaces interpretar datos probabilísticos o interaccionales (Kuhn & Pease, 2008) . La investigación de Kuhn y Pease (2008), pese a tener algunos componentes analógicos como los señalados en el apartado de evaluación de evidencia desde la perspectiva analógica, representa un avance en la investigación al hacer énfasis en la estructura multivariada de los problemas científicos. Los resultados de esta investigación permiten considerar que los sujetos, al interactuar con las tareas, desarrollaban una capacidad para dar cuenta de estructuras multicausales. Esto lo hacían con base en inferencias de tipo probabilístico, que trascienden los estrechos límites de un cálculo lineal de causa y efecto.

En este punto se debe señalar que, la mayor parte de los estudios acerca de la habilidad para razonar a propósito de los efectos de múltiples variables, están basados en adultos, y tienden a asumir que la habilidad para simultáneamente considerar e integrar los efectos causales de múltiples variables no es evidenciable en los niños (Kuhn, Pease, & Wirkala, 2009). En contraste, es posible caracterizar habilidades tempranas en edad pre-escolar, para aislar causas y dar por descontadas alternativas causales en contextos multivariados simples, caracterizados por presentar un contenido neutral, acerca del cual los niños no tienen creencias previas (Kuhn et al, 2009). Con esta idea como base, Kuhn, Pease y Wirkala (2009) examinan la habilidad de 91 niños de sexto grado para predecir resultados con base en los efectos simultáneos de múltiples factores. Para Kuhn et al. (2009) en términos de pensamiento científico la actividad fundamental ligada a la comprensión de la interacción entre las variables de un sistema sería la coordinación de las variables. Esta última puede definirse con base en la revisión de Kuhn et al. (2009) como la capacidad para identificar los efectos de múltiples variables, distinguir entre variables causales y no causales, y razonar acerca de sus efectos coordinados, para predecir resultados.

La investigación de Kuhn, Pease y Wirkala (2009) mostró que existen retos conceptuales para los niños en las áreas de predicción multivariada. Según los autores las dificultades que estas tareas presentan para los niños se relacionan con la comprensión que poseen acerca de las variables, los niveles de las mismas, y la consistencia de las variables a través de diversas ocasiones. Entre las conclusiones que se pueden destacar se recupera el hecho de que la evidencia sugiere algún grado de maestría sobre el concepto de variable es un pre-requisito lógico para la comprensión conceptual de la necesidad de controlar variables, con miras a producir una comparación interpretable (Kuhn et al, 2009).

En términos generales, en los elementos metafóricos de las investigaciones de Kuhn, se puede identificar un avance en el reconocimiento de habilidades complejas para coordinar variables en los niños. En este orden de ideas se trasciende la simplificación del pensamiento científico como una formalización a través de la consideración de fenómenos multi-causales. No obstante, todavía es evidente, incluso dentro de una mirada más metafórica, de un énfasis adulto en la mirada sobre el funcionamiento cognitivo de los niños.

Una posible limitación a partir de estos estudios, es que la habilidad para controlar e identificar la manera cómo se afectan mutuamente los elementos de un sistema resultaría tardía en aparecer en el desarrollo. No obstante, queda sin responder la pregunta acerca de cuáles son las formas en que las capacidades anteriormente mencionadas se manifiestan en niños en edad pre-escolar. Esto se debe a que durante los procesos que caracterizan a la estrategia de coordinación de efectos de múltiples variables, es el nivel de las variables no focales el que debe permanecer constante entre diversas instancias en un experimento controlado, mientras que las variables mismas nunca llegan a ser o permanecen constantes (Kuhn et al., 2009). Esta distinción es, de acuerdo con los autores, fundamental para que se lleve a cabo una coordinación de variables. Los niños no suelen realizarla por sí mismos, ya que su concepción de la relación entre una variable y otra en múltiples instancias (Kuhn et al, 2009) es frágil, al igual que su idea de los

múltiples y simultáneos efectos de más de una variable sobre un resultado (Kuhn et al., 2009).

Otro punto de discusión es el que se refiere al énfasis en las respuestas correctas como un indicador de cambio. Los estudios desde ambas perspectivas, tienden a enfocarse en las diferencias en relación con la edad concebida como un indicador de las capacidades de pensamiento científico, o en la relación entre comportamiento-habilidad definida para diferentes grupos de edad (Puche-Navarro, 2011).

Sería fundamental establecer cuáles son los patrones de desarrollo de la coordinación de los efectos de múltiples variables (Kuhn et al, 2009) en los niños pequeños, y profundizar en su descripción. Esto podría hacerse a través de diseños que permitan identificar las trayectorias que caracterizan a estos en tiempo real. Para ello resulta viable explorar la forma en que tiene lugar el micro-desarrollo en el pensamiento científico siguiendo el camino abierto por Puche-Navarro (2006) y Van Geert (Steenbeek, H, Van Geert, P. & van Dijk, M., 2011).

Evaluación de evidencia desde una perspectiva metafórica.

Como se señaló en el apartado referente a la perspectiva analógica, dentro de la evaluación de evidencia tienden a ser pocos los estudios que pueden clasificarse como puramente metafóricos. Por tanto, en esta parte del texto se revisarán estudios con componentes metafóricos, así algunos de ellos puedan caracterizarse como analógicos en términos generales.

Uno de los aspectos que más ha sido estudiado en relación con la evaluación de evidencia es su relación con el cambio conceptual; y específicamente, la relación entre teoría o creencia previa y evidencia. Sodian et al., (1991) se centraron en la habilidad de los niños de 6 a 9 años para diferenciar entre sus creencias hipotéticas y la evidencia. En esta investigación se presentó a los niños, a través de una historia ilustrada, una situación en la que debían escoger condiciones

experimentales que sirvieran de base para evaluar una hipótesis. Se concluyó que los niños entre los 6 y los 9 años pueden diferenciar entre sus creencias hipotéticas y la evidencia. Asimismo, se concluyó que estos niños son capaces de distinguir entre evaluaciones concluyentes y no concluyentes para hipótesis simples acerca de determinados estados de las cosas; y que entienden las inferencias que pueden ser realizadas a partir del resultado de una evaluación concluyente. Por último, también se encontró que muchos niños son capaces de generar de manera espontánea un procedimiento para recoger evidencia indirecta relevante a la creencia. Sin embargo, estos mismos autores señalan que los niños no hacen un uso experto de su capacidad para distinguir entre evidencia y teoría o creencia previa.

En un abordaje similar, Croker y Buchanan (2011), en un estudio sobre el impacto de la creencia previa en la evaluación de hipótesis, indican que la evaluación de evidencia está ligada al control de variables (coordinación de variables), y a la teoría o creencia previa, y que sirve a la evaluación de hipótesis. Este estudio contó con 144 niños entre los 4 y los 11 años de edad. El análisis de los resultados apoya aún más el punto de vista según el cual el conocimiento previo afecta las estrategias utilizadas por los niños cuando evalúan datos correspondientes a hipótesis. Se encontró que cuando la información era consistente con un resultado positivo, o inconsistente con un resultado negativo, los participantes podían elegir, basados en teoría, la evaluación pertinente para apoyar sus hipótesis (por ejemplo, manipular una variable). En los casos opuestos, los niños tendían a elegir estrategias inapropiadas para solucionar el problema (por ejemplo: manipular y cambiar todas las variables). Los datos demostraron que el impacto del resultado de los eventos sobre la evaluación de evidencia es robusto. Se estableció que el peso de las creencias previas tiene una fuerte incidencia en el desempeño. Los hallazgos soportan la idea de que el análisis de las explicaciones de los niños puede ofrecer a los investigadores un “insight” acerca de la forma en que éstos conciben las nociones de hipótesis y evidencia; así como también acerca de las relaciones que entre ambas se establecen. Es importante resaltar el reconocimiento de la perspectiva del niño, en la medida en

que se tiene en cuenta para el análisis de la evidencia, su conocimiento previo y la manera en la que los niños la articulan con nueva información.

Los aspectos fundamentales de los estudios hasta aquí descritos, fueron considerados por Zimmerman (2007), quien presentó una revisión en la que se puede observar que la escasa investigación acerca de evaluación de evidencia se ha enfocado en los aspectos instruccionales, descuidando, de cierto modo, la exploración de la relación existente entre evaluación de evidencia y desarrollo cognitivo. Siguiendo a Chinn y Brewer (2001), Zimmerman (2007) señala que en lo que concierne a los aspectos del desarrollo cognitivo implicados en la evaluación de evidencia, se ha hipotetizado que al evaluar datos los individuos construyen un modelo cognitivo en el cual teoría y evidencia están interconectados de manera compleja. La interconexión entre teoría y evaluación de evidencia sería crucial en el desarrollo de la proficiencia en el pensamiento científico, bajo la forma de procesos de coordinación entre evidencia y teoría, los cuales se harían progresivamente más explícitos, reflexivos e intencionales (Zimmerman, 2007). Es a partir de esta coordinación entre evidencia y teoría que se generaría la comprensión epistemológica de los sujetos. Esta aparece bajo la forma del desarrollo de su competencia metacognitiva y meta-estratégica (Zimmerman, 2007), gracias a la cual el estatuto epistemológico de evidencia y teoría se hace progresivamente más evidente, permitiendo que el cambio conceptual ocurra de manera más controlada y reflexiva. Zimmerman (2007) concluye que una explicación completa de las diferencias presentes entre sujetos debería dar cuenta de los procesos relativos a la evaluación de evidencia y a la construcción de teorías. Estos procesos responderían respectivamente a la inferencia inductiva y al razonamiento causal, en el marco de la comprensión epistemológica.

El concepto mismo de evaluación de evidencia aparece como un componente relevante del pensamiento científico. No obstante, el fuerte énfasis en las características explícitas y verbalizables, deja de lado otras formas más simples de evaluación de la evidencia. Dichas formas podrían ser exploradas en la forma de la relación dinámica y recursiva entre las retroalimentaciones de las tareas al

experimental y el conocimiento previo de los niños, las cuales se dan muchas veces de formas más sutiles e implícitas. De esta forma se podría superar la tendencia a centrarse en el establecimiento de la presencia o ausencia, en los niños, de la habilidad para evaluar evidencia desde una mirada adulta. Dicha perspectiva debería poder dar cuenta de los aspectos dinámicos que caracterizan a este componente del razonamiento científico, a su desarrollo, y a las formas en que se transforma a lo largo del tiempo y en tiempo real.

Razonamiento causal desde la mirada metafórica

Gopnik et al. (2004) considera que los niños pequeños tienen teorías intuitivas acerca de los mundos físico, biológico y psicológico. Dichas teorías pueden ser entendidas como representaciones de la estructura causal del mundo. Esto implica que los niños pequeños pueden generar predicciones causales a partir de dichas teorías, y además construir explicaciones causales y razonar acerca de causas no intuitivas. Según Gopnik (2004) las teorías intuitivas de los niños cambian en respuesta a la evidencia, tanto de manera espontánea, como a partir de instrucción explícita. Lo anterior implica dar cuenta de procesos del desarrollo que han sido poco estudiados, y que están involucrados en la forma en que el razonamiento causal aparecen en los niños pequeños.

Según Kuhn et al. (2009) en la investigación sobre habilidades de razonamiento causal centrada en niños pequeños, se destacan además los trabajos de Gopnik y sus colegas. Estos autores confirmaron la existencia de una habilidad precoz en los niños en edad pre-escolar para aislar causas y dar por descontadas alternativas causales en contextos multivariados simples, caracterizados por presentar un contenido neutral, acerca del cual los niños no tenían creencias previas.

Existe evidencia de que los niños en edad pre-escolar hacen uso de razonamiento causal, de una manera relativamente compleja y cualitativamente correcta (Van Geert, en prensa). Los niños pequeños dan muestras de estar en capacidad de

razonar por medio del examen de información probabilística (Van Geert, en prensa) para identificar propiedades causales y realizar inferencias a propósito de los fenómenos que observan.

Este tipo de razonamiento configura redes causales relativas a los hechos. Para algunos autores (Zhu & Gigerenzer, 2006; Gopnik et al, 2004; Puche-Navarro & Ossa, 2009) dichas redes responden a un modelo de redes bayesianas. El modelo de redes bayesianas permite describir el funcionamiento del conocimiento y del aprendizaje causal. Esto se debe a que “provee procedimientos de aprendizaje que hacen posible la construcción de representaciones abstractas, coherentes y estructuradas, derivadas de patrones de evidencia sobre la base de ciertas asunciones realizadas por los sujetos (Gopnik, 2004)

Gopnik ha realizado importantes aportes a la comprensión de la relación entre razonamiento causal en niños pequeños y redes bayesianas, abordando desde diversos dominios y perspectivas los problemas inherentes a estos fenómenos. Entre los estudios que ha realizado esta autora se destacan los correspondientes a: inferencias acerca de las partes internas de los objetos y sus propiedades causales (Sobel, Yoachin, Gopnik & Meltzoff, 2007), inferencias de estructuras causales escondidas (Kushnir, Gopnik, Lucas & Schulz, 2010) , identificación, inferencia y uso de patrones estadísticos en eventos causales (Wu, Gopnik, Richardson & Kirkham, 2011), e Inferencia causal a partir de atribuciones e intervenciones humanas (Meltzoff, Waismeyer & Gopnik, 2012; Seiver, Gopnik & Goodman, 2012) Gopnik, Glymour, Sobel, Schultz-Tmara Kushmir y Danks (2004b) señalan que los niños hacen uso de un conjunto de sistemas cognitivos especializados, con base en los cuales se encuentran en capacidad de recuperar mapas causales precisos referidos a los fenómenos que observan. Estos mapas causales, que responden a la estructura de redes bayesianas (formalismos normativos matemáticos causales), consisten en representaciones abstractas, coherentes, no egocéntricas y aprendidas acerca de las relaciones causales que se establecen entre eventos. Sobre la base de estos mapas causales los sujetos realizan predicciones acerca del futuro, e intervienen, basados en esas

predicciones, sobre los fenómenos con miras a generar nuevos eventos. Sin embargo, no siempre las representaciones que integran estos mapas causales son adecuadas a las estructuras reales de los fenómenos a los que se refieren. En el caso de los niños, dichos mapas causales se apoyan en un conjunto de procedimientos de tipo inductivo e inconsciente. Los mapas causales son inferidos a partir de observaciones de patrones de correlación entre diferentes eventos, así como a partir de la observación realizada sobre los efectos causados por las intervenciones (Gopnik et al, 2004b).

Uno de los estudios de Gopnik y Schultz (2004) estuvo dirigido a explorar la formación de teoría en niños pequeños, poniendo especial énfasis en el aprendizaje y la comprensión de la causalidad (probabilidad condicional), y su relación con el conocimiento causal. En este estudio se concibió el razonamiento causal como capacidad para inferir estructuras causales a partir de la evidencia, sobre la base de inferencias en términos de probabilidad condicional (Gopnik & Schultz, 2004). Se encontró (Gopnik & Schultz, 2004) que existen habilidades *precursoras* del razonamiento causal en niños pequeños (entre los dos y los cuatro años de edad). También se evidenció que estos niños poseen habilidades de aprendizaje causal, las cuales les permiten: detectar patrones de probabilidad condicional; entender, en cierto grado, el carácter y la incidencia de sus propias intervenciones y de las ajenas; e integrar espontáneamente la probabilidad condicional y la información referida a intervenciones sin tener que recurrir a instrucción por parte de un adulto. Con base en los resultados Gopnik y Schultz (2004) afirmaron que los niños están equipados con un sistema de aprendizaje causal. Los mecanismos de dicho sistema serían los encargados de transformar informaciones propias de dominios generales en representaciones de carácter específico, altamente estructuradas, relativas a relaciones causales entre eventos.

También se observó que los niños de cuatro años pueden combinar patrones de dependencia condicional e intervención con la finalidad de establecer inferencias acerca de estructuras causales (Gopnik, 2004b). Esto lo realizan de una manera que tiene en cuenta el carácter fundamental de la intervención como modo de

operar para resolver problemas. Dicha clase de inferencia funciona bajo la forma de redes bayesianas, y no aparece como una característica de otros modelos del razonamiento causal, tales como los asociacionistas, o los modelos de poder causal (Gopnik & Schultz, 2004).

Cuando piensan con redes bayesianas los niños combinan la información que proviene tanto de la observación como de la intervención sobre los objetos. Al hacer esto identifican direcciones causales, respondiendo a preguntas del tipo “¿Es X la que causa a Y, o es Y la que causa a X?” (Gopnik & Schultz, 2004, p.375). Esta forma de razonamiento con estructura de redes bayesianas habilita a los niños para inferir variables que no pueden ser observadas a simple vista, incluso cuando la naturaleza de los eventos es probabilística más que determinística.

Posteriormente, Griffiths, Sobel, Tenenbaum, y Gopnik (2011), realizaron un estudio en el que exploraron la manera en que los niños realizan inferencias sobre relaciones causales *novedosas*. El interés se centró en los mecanismos de inducción causal de los sujetos, y la relación de estos con las redes bayesianas. La inducción causal fue definida como un problema cognitivo complejo que requiere la inferencia de relaciones causales no observables, con base en datos cuya observación es limitada (Griffiths et al, 2011). En la realización de estas inferencias, se combinarían el conocimiento causal previo, y la sensibilidad estadística del sujeto para identificar la covariación entre causa y efecto, en un tipo de razonamiento que responde al modelo de redes bayesianas (Griffiths et al, 2011) Se encontró que el aprendizaje de estrategias avanzadas para la resolución del problema tiende a ser más fácil cuando los sujetos poseen un conocimiento previo adecuado. Así mismo, se afirma que la fuerza de las conclusiones sobre relaciones causales, depende del conocimiento previo y del nivel de ambigüedad que presentan los datos. Por tanto, no sólo sería con base en la identificación de patrones de co-variación entre causa y efecto que se establecerían las inferencias de los sujetos acerca de las relaciones causales que subyacen a un fenómeno,

sino que sus mapas causales previos estarían en la base de la identificación de redes causales que resultan novedosas.

El conjunto de aportes presentados por estos estudios permite entrever la forma en que un abordaje del desarrollo del pensamiento científico, desde una **concepción metafórica** del niño como científico, profundiza en las capacidades y los funcionamientos cognitivos de los niños cuando interactúan de forma auto-dirigida, y basada en evidencia, con su entorno.

Otros estudios, a diferencia de los de Gopnik, ponen el énfasis en la forma en que los niños hacen uso de razonamiento bayesiano, más que en su función como modelo para explicar la forma en que estos comprenden las relaciones causales. Dentro de esta categoría se pueden enmarcar el trabajo de Ossa y Puche-Navarro (2009), en el que se abordan problemas ligados al razonamiento causal, desde una concepción metafórica del niño *como* científico, y dirigido a explorar la relación entre los funcionamientos inferenciales de los niños y las redes bayesianas. Una de las fortalezas metodológicas de este estudio de Ossa y Puche-Navarro (2009) estaría al igual que el estudio de Gopnik en tomar la perspectiva del niño y lograr operacionalizar por medio de una situación el funcionamiento cognitivo en términos de probabilidad condicional.

Por otra parte, el estudio de Ossa y Puche-Navarro (2009) se relaciona con el de Zhu y Gigerenzer (2006), (citado en el apartado de razonamiento causal desde la perspectiva analógica) en el hecho de que aborda el razonamiento bayesiano y lo emplea como elemento de análisis de los datos. Pero una diferencia importante entre el estudio de Ossa y Puche-Navarro (2009) y el de Zhu y Gigerenzer (2006) es que los primeros se centran en la habilidad de clasificación del niño como científico, mientras que Zhu y Gigerenzer se centran en el razonamiento bayesiano y asumen una perspectiva adulta y analógica del pensamiento científico

A partir de la utilización de redes bayesianas Ossa y Puche-Navarro (2009) se investigaron las combinaciones complejas de los funcionamientos inferenciales (articulados a funcionamientos clasificatorios) en niños de 4 años. En este trabajo

de Ossa y Puche-Navarro (2009) el diseño de las situaciones permitía describir la actividad de los niños pequeños cuando hacen uso de criterios de clasificación para traducir inferencias en conjuntos de probabilidades. El razonamiento causal fue concebido como el conjunto de funcionamientos inferenciales, articulados a funcionamientos clasificatorios, que permiten al sujeto la comprensión de relaciones causales, y de las relaciones de dependencia o independencia entre las variables de la tarea (Ossa y Puche-Navarro, 2009). Los autores indican que este tipo de funcionamientos inferenciales son de carácter complejo y probabilístico, y sus alcances son distintos a los de la inferencia inductiva lineal entre causa y efecto (Ossa & Puche-Navarro, 2009). Esta propuesta de Ossa y Puche-Navarro (2009) representa un avance en la comprensión del desarrollo cognitivo temprano. Los autores encuentran patrones de funcionamiento inferencial complejos en niños pequeños desde edades más tempranas de las que señalan los autores centrados en una perspectiva analógica del pensamiento científico. Estos patrones, que se manifiestan como tipos de razonamiento probabilístico (adivinanza, transicional y resolutorio) muestran que la variabilidad inherente al funcionamiento cognitivo presenta ciertas regularidades, y puede ser un elemento importante en el análisis del desarrollo. De este modo se profundiza en la comprensión de la naturaleza sistémica y dinámica del funcionamiento cognitivo. A partir de esto se puede plantear la hipótesis de que el pensamiento científico, como modo de funcionamiento inferencial complejo no puede ser reducido a las condiciones de su manifestación en científicos adultos, sino que puede encontrarse en niños pequeños.

El examen de estos estudios permite confirmar la importancia de los modelos bayesianos en la descripción de las dinámicas que subyacen al razonamiento causal. Por este medio se encuentra evidencia de que los niños hacen uso de información probabilística cuando identifican propiedades causales, y cuando realizan inferencias causales relativas a los objetos y fenómenos del mundo circundante. Esta perspectiva trasciende los alcances explicativos de abordajes clásicos que se limitaban a explicar el razonamiento causal en términos de relaciones causa-efecto lineales (Glymour, 2003). Así se abre la posibilidad de

explorar la complejidad de las relaciones causales (Glymour, 2001), incluyendo: Las cadenas de múltiples causas que se afectan unas a otras, causas interactivas, factores no observados influenciando tanto los efectos como las potenciales causas, ausencia o presencia de conocimiento, dependencias deterministas y probabilísticas (Ossa y Puche-Navarro, 2009), entre otros fenómenos de carácter no lineal. De esta manera los estudios sobre razonamiento científico desde un modelo de redes bayesianas arrojan evidencia sobre la complejidad del pensamiento científico. El principal aporte de estos estudios consiste en mostrar que los procesos involucrados no presentan necesariamente un carácter lineal.

A continuación, se presenta la síntesis de esta revisión. Esta consiste en la postulación de un conjunto de categorías concernientes a las habilidades cognitivas implicadas en el pensamiento científico. Estas servirán para guiar la investigación acerca de los procesos en tiempo real que caracterizan el funcionamiento cognitivo de niños en edad pre-escolar, cuando hacen uso del pensamiento científico en situaciones de resolución de problema.

Balance General

El análisis de la literatura sobre pensamiento científico y sus componentes permite identificar un conjunto de actividades cognitivas que han sido postuladas desde dos concepciones: abordaje metafórico y abordaje analógico. La primera conclusión respecto a estas actividades y funcionamientos cognitivos (Control de variables, evaluación de evidencia, Razonamiento causal) es que estarían presentes en niños en edad pre-escolar, aunque no necesariamente en el nivel de formalización que caracteriza a la práctica científica adulta y profesional. A partir de este hecho, la revisión de la literatura sirve de base para la construcción de un conjunto de categorías claves para la indagación acerca de la forma en que se manifiesta el pensamiento científico en edades tempranas.

En primera instancia, conviene sintetizar, en una definición general, las categorías que corresponden a las actividades de pensamiento científico desde los abordajes **analógico** y **metafórico**, de tal manera que se pueda caracterizar este proceso.

Se encontró que, en lo que respecta a la manera en que los niños aplican el control de variables, los autores tienden a equiparar dicho control con aislamiento de variables. El control de variables consiste en la identificación de las variables causales que subyacen a un fenómeno, y de las relaciones que se establecen entre éstas, a partir de su aislamiento y manipulación intencionados, con miras a la evaluación de hipótesis causales.

No obstante, es importante señalar que la revisión dio cuenta de un desarrollo de la conceptualización sobre el control de variables a partir de investigaciones que fueron ampliando su campo de aplicabilidad hacia modalidades del pensamiento científico por fuera de la práctica adulta. Un avance a este respecto es la postulación, por parte de Kuhn y Pease (2008), de la estrategia de control de variables como una forma más comprehensiva de explicación del funcionamiento cognitivo de los sujetos cuando se enfrentan a problemas multivariados, y su posterior desarrollo de este mismo concepto como una *coordinación de efectos de múltiples variables* (Kuhn et al., 2009). Así se abre la vía para la comprensión de cómo y hasta qué punto los niños operarían por medio de una coordinación cognitivamente auto-dirigida cuando interactúan con una tarea. Dicha estrategia de coordinación de los efectos de múltiples variables (Kuhn et al., 2009), asumida como una forma del control de variables que da cuenta del funcionamiento inferencial de los sujetos, resulta apropiada como base teórica de la indagación acerca del desarrollo del pensamiento científico. Esta coordinación de efectos de múltiples variables puede ser definida como la actividad cognitiva, de carácter inferencial que consiste en el aislamiento y la integración recursivos. Dicha coordinación se despliega según una lógica probabilística y/o determinística, de posibles factores causales que tendrían incidencia en la forma en que se manifiesta un evento en un momento determinado. Esto se realiza con el fin de confirmar o refutar hipótesis acerca de las relaciones causales que caracterizan el fenómeno estudiado.

En síntesis la coordinación de variables estaría presente en niños en edad pre-escolar, como una característica del desarrollo más que como una competencia

formalizada y consciente del aislamiento de variables típico de la práctica científica profesional. Sería posible estudiarla a través de la interacción de los niños con situaciones de resolución de problema que presenten una estructura multivariada

Un segundo componente del pensamiento científico identificado es la evaluación de evidencia. Ésta es una actividad cognitiva organizada, auto-regulada y auto-dirigida hacia el entorno, que aplican los sujetos con el fin de identificar, seleccionar, y valorar los datos disponibles a propósito de la estructura causal que subyace a un fenómeno. Dicha actividad se caracteriza por el uso estratégico de la inferencia inductiva, y se articula con el razonamiento causal y la coordinación de los efectos de múltiples variables en el marco de los procesos de pensamiento científico.

La evaluación de evidencia está igualmente relacionada con la evaluación de hipótesis y la predicción de resultados. Este funcionamiento estaría presente en edades tempranas pese a que los niños pequeños no puedan generar verbalmente justificaciones apropiadas para dar cuenta de su pensamiento científico. Esto ocurre a pesar de que se haya enfatizado en diversas ocasiones que los niños requieren de la guía de adultos para llevar a cabo procesos complejos de identificación, selección e interpretación de los datos que cuentan como evidencia en un caso determinado.

Una alternativa estaría dada desde un concepto menos formalizado de evaluación de evidencia. Ello permitiría enfatizar a las relaciones establecidas entre las representaciones de los niños y la información que se va obteniendo en tiempo real al resolver una tarea que implique el uso de la experimentación. Esto por supuesto implicaría un análisis de series de tiempo.

Un tercer componente es el que compete a las actividades que se engloban bajo la categoría de razonamiento causal. Desde una perspectiva analógica del pensamiento científico, este se concibe como la actividad cognitiva orientada a identificar las relaciones causales que caracterizan a un fenómeno complejo, y que

son susceptibles de articularse en un modelo teórico que describa o explique dicho fenómeno.

Por otra parte, el examen de los estudios que tienden a orientarse con un mayor énfasis hacia el desarrollo del pensamiento científico, y hacia una concepción **metafórica** del niño como científico, arroja dos desarrollos teóricos importantes. El primero de dichos desarrollos es el que compete al estudio de la forma en que los sujetos identifican las relaciones causales que determinan las manifestaciones de un fenómeno, y que concierne al funcionamiento cognitivo relativo a la realización de inferencias a propósito de la noción de causalidad.

Se re-define el razonamiento causal como la actividad cognitiva de carácter inferencial, organizada, auto-regulada y auto-dirigida hacia el entorno que se orienta a la comprensión de los tipos de interacción posibles entre las múltiples variables causales que afectan un sistema. Esto se realiza con el fin de identificar cuáles son las relaciones causales específicas que subyacen a los diferentes estados en los que puede llegar a encontrarse dicho sistema.

La identificación de relaciones causales sirve al establecimiento y/o re-estructuración de modelos o mapas causales acerca de los fenómenos con los que interactúan los sujetos. Este funcionamiento cognitivo opera por medio de un tipo de razonamiento apoyado en inferencias de tipo probabilístico-determinístico acerca de las posibles interacciones entre los factores causales del problema.

Autores como Gopnik et al. (2004; 2011) y Ossa y Puche-Navarro (2009) han indicado que el modelo de redes bayesianas puede dar cuenta de este tipo de actividad cognitiva. Este modelo permite la recuperación de inferencias que, en términos de probabilidad, realizan los sujetos cuando se enfrentan a situaciones de resolución de problema. A partir de lo anterior se puede postular que los procesos inscritos en el razonamiento causal no son de carácter lineal. Por el contrario, implican procesamientos más complejos, como los que competen a la identificación de probabilidades en contextos multivariados.

Un segundo desarrollo teórico importante para el estudio de las tendencias en el desarrollo del pensamiento científico en edades tempranas, es el que concierne a la forma en que los sujetos interactúan con el orden multivariado de las situaciones de resolución de problema y de los dispositivos orientados a elicitare sus funcionamientos de pensamiento científico.

La articulación e interacción (dentro del marco del funcionamiento cognitivo) de la coordinación de efectos de múltiples variables, la evaluación de evidencia, y el razonamiento causal en términos de probabilidad, correspondería a un modelo del pensamiento científico. Esta descripción sería capaz de dar cuenta de la forma en que los sujetos realizan inferencias basadas en evidencia, para elaborar sus mapas causales sobre las regularidades empíricas que integran el mundo físico y social a su alrededor, e interactuar con base en dichos mapas causales.

Es importante señalar en este punto que, al margen de la discusión sobre cómo entender el funcionamiento del niño *como* científico (si *metafórica* o *analógicamente*), es necesario ahondar en la exploración de la manera en que las actividades relacionadas con el pensamiento científico, se manifiestan en edades tempranas, y cuáles son sus tendencias de desarrollo. En este orden de ideas es posible tomar distancia de las concepciones que intentan encontrar un reflejo de la actividad científica formal en los niños, y hacer un análisis del pensamiento científico en edades tempranas como un fenómeno con naturaleza propia. Esta vía permitiría acercarse a una comprensión más precisa de su desarrollo.

Tras la consideración de este panorama general acerca del pensamiento científico, es claro que se requiere un mayor número de estudios. Dichos estudios deberían tener un carácter longitudinal, dirigidos a indagar por la manera en que tanto razonamiento causal, como coordinación de variables y evaluación de evidencia, se manifiestan en edades tempranas. De esta manera se podría dar respuesta a la cuestión planteada por Zimmerman (2007) acerca de la relación entre los procesos cognitivos fundacionales y el desarrollo del pensamiento científico. Esto incluye el estudio acerca de cómo emergen las habilidades de pensamiento científico y cómo cambian en el tiempo.

Es clara la necesidad de abordajes de la interacción entre los componentes del pensamiento científico, que puedan dar cuenta de la estructura dinámica de dicho proceso. Esta estructura se manifiesta a través de rasgos tales como la no linealidad del razonamiento causal implícita en el modelo de redes bayesianas (Ossa & Puche-Navarro, 2009), y la tendencia a la auto-organización presente en los desempeños de los niños pequeños durante la resolución de problemas.

El examen de la literatura sobre pensamiento científico permite concluir que se hace necesario estudiar el complejo entrelazamiento en que operan los procesos de razonamiento causal, coordinación de los efectos de múltiples variables y evaluación de evidencia. Dicho entrelazamiento podría ser descrito como la articulación, recursiva y estratégica, de las características fundamentales de tales componentes. Éste emergería durante situaciones de resolución de problema que demanden el uso de pensamiento científico. En el caso de los niños, este tipo de actividad no sería necesariamente consciente ni verbalizable.

Una vía posible para cumplir este objetivo es posible a través del estudio del desarrollo del funcionamiento de la experimentación². La experimentación se entiende como un funcionamiento de un conjunto de procedimientos sistemáticos que se realizan para verificar o comprobar un camino o una idea en el plano de los hechos. En este orden de ideas, la experimentación se podría plantear como operacionalización, en el marco de situaciones de resolución de problema, del conjunto de actividades cognitivas tales como: la identificación de variables causales, la predicción de resultados de la interacción entre dichas variables, la interpretación de los datos disponibles, las comparaciones controladas de los valores de las variables entre otras, son puestas en juego como parte del funcionamiento de la experimentación

Las actividades mencionadas son características del pensamiento científico. Estas actividades implican la puesta en marcha de la coordinación de variables, la

² Pese a que se hace pertinente el desarrollo en profundidad del concepto de funcionamiento de la experimentación, éste se reservará para el capítulo 2. Esto debido a que como un concepto que operacionaliza el pensamiento científico, éste genera una base importante para la primera exploración empírica de este trabajo.

evaluación de evidencia y el razonamiento causal. Esta articulación se da dentro de una interacción entre el sujeto y la situación como un *umwelt*, caracterizada por la búsqueda controlada de las regularidades que determinan las posibilidades de un sistema. Esta articulación y cómo opera a través de ella la variabilidad inherente al desarrollo cognitivo descrita por Puche-Navarro (2006) se describirá en el capítulo 2). Se deben explorar el microdesarrollo del pensamiento científico y las trayectorias variables que describen los desempeños de los sujetos en tiempo real.

La caracterización del -desarrollo del pensamiento científico desde la perspectiva basada en la teoría de sistemas dinámicos no lineales, con diseños microgenéticos permitiría observar el funcionamiento de la experimentación tanto en escalas de tiempo corto y largo. La teoría de sistemas dinámicos no lineales podría permitir observar las propiedades de auto-organización, la emergencia de nuevos estados de atractor a lo largo de trayectorias variables, la correlación entre cambio continuo y discontinuo son características propias del funcionamiento de la experimentación, y por tanto del desarrollo del pensamiento científico.

Este tipo de abordaje abre una vía interesante, más allá de los abordajes tradicionales, basada en miradas estáticas enfocadas en dar cuenta por la que poseen o que les falta a los niños en determinado momento de su desarrollo. Además, permite trascender una mirada basada en metodologías centradas en caracterizar el éxito y el fracaso en situaciones muchas veces descontextualizadas y pensadas desde una perspectiva adulta.

De este modo se hace posible dar cuenta del modo en que opera la interacción de los componentes y habilidades implicados en el pensamiento científico y de su relación con los itinerarios de cambio. Como consecuencia de ello, se podría realizar un aporte a la comprensión de la forma en que los hallazgos de los estudios aquí revisados se integran con la concepción del desarrollo cognitivo como ejemplo de sistema dinámico complejo.

Referencias

- Amsel, E., & Brock, S. (1996). Developmental changes in children's evaluation of evidence. *Cognitive Development*, 11, 523-550.
- Anderson, C. A., & Kellam, K. L. (1992). Belief perseverance, biased assimilation, and covariation detection: The effects of hypothetical social theories and new data. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 18(5), 555-565.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Children's acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120
- Chen, Z., & Klahr, D. (2008). Remote transfer of scientific reasoning and problem-solving strategies in children. *Advances in Child Development and Behavior*, 36, 419-470.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (2012). Models of data : A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Chinn, C., & Malhotra, B. (2002). Children's responses to anomalous scientific data: How is conceptual change impeded?. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 327-343. doi:10.1037//0022-0663.94.2.327
- Crocker, S., & Buchanan, H. (2011). Scientific reasoning in a real world context: The effect of prior belief and outcome on children's hypothesis testing strategies. *British Journal of Developmental Psychology*, 29(3), 409-424.
- Glymour, C. (2001). *The mind's arrows*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Glymour, C. (2003). Learning, prediction and causal Bayes nets. *Trends in Cognitive Science*, 7, 43-48.
- Gopnik, A., & Schulz, L. (2004). Mechanisms of theory formation in young children. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(8), 371-377. doi:10.1016/j.tics.2004.06.005
- Gopnik, A., Glymour, C., Sobel, D., Schultz, L., Tamar, K., & Danks, D. (2004). A theory of causal learning in children: Causal maps and Bayes nets. *Psychological Review*, 111(1), 3-32.
- Griffiths, T. L., Sobel, D. M., Tenenbaum, J., & Gopnik, A. (2011). Bayes and Blickets: effects of knowledge on causal induction in children and adults. *Cognitive Science*, 35(8), 1407-1455.
- Koerber, S., Sodian, B., Thoermer, C., & Nett, U. (2005). Scientific reasoning in young children: Preschoolers' ability to evaluate covariation evidence. *Swiss Journal of Psychology*, 64(3), 141-152. doi:10.1024/1421-0185.64.3.141

- Kosloswki, B., & Masnick, A.M. (2007). Causal reasoning. En U. Goswami (Comp.), *Handbook of child cognitive development*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Kuhn, D. (2007) Reasoning about multiple variables: Control of variables is not the only challenge. *Science Education*, 91(5), 710-726. doi: 10.1002/sce.20214
- Kuhn, D. (2009). Do students need to be taught how to reason? *Educational Research Review*, 4(1), 1–6. doi:10.1016/j.edurev.2008.11.001
- Kuhn, D., & Pease, M. (2008b). What needs to develop in the development of inquiry skills? *Cognition and Instruction*, 26(4), 512–559. doi:10.1080/07370000802391745
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Orlando, FL: Academic Press.
- Kuhn, D., Iordanou, K., Pease, M., & Wirkala, C. (2008). Beyond control of variables: What needs to develop to achieve skilled scientific thinking? *Cognitive Development*, 23(4), 435–451. doi:10.1016/j.cogdev.2008.09.006
- Kuhn, D., Pease, M., & Wirkala, C. (2009). Coordinating the effects of multiple variables: A skill fundamental to scientific thinking. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(3), 268–84. doi:10.1016/j.jecp.2009.01.009
- Kuhn, D., Schauble, L., & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9(4), 285-327.
- Kushnir, T., Gopnik, A., Lucas, C., & Schulz, L. E. (2010). Inferring hidden causal structure. *Cognitive Science*, 34, 148-160
- Lehrer, R., Schauble, L., & Lucas, D. (2008). Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development*, 23(4), 512–529. doi:10.1016/j.cogdev.2008.09.001.
- Lorch, E.P., Freer, B.D., Hodell, E.C., Dunlap, E.E., Calderhead, W.J., & Lorch, R.F., Jr. (2008, March). Thinking aloud interferes with application of the control of variables strategy. *Symposium conducted at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New York, NY.
- Meltzoff, A. N., Waismeyer, A., & Gopnik, A. (2012). Learning about causes from people: Observational causal learning in 24-month-old infants. *Developmental Psychology*, 48(5), 1215-1228. doi: 10.1037/a0027440

- Ordoñez, O., (2003). Hipótesis, experimentos e inferencias en el niño: Una propuesta de análisis. *El niño: científico, lector y escritor, matemático* (pp.41-69). Cali: Universidad del Valle.
- Ossa, J. C., & Puche-Navarro, R. (2010). Modelos bayesianos y funcionamientos inferenciales complejos. *Acta Colombiana de Psicología*, 13(2), 119–128.
- Puche -Navarro, R. & Ossa, J. C. (2006). ¿Qué hay de nuevo en el método microgenético? Más allá de las estrategias y más acá del funcionamiento cognitivo del sujeto. *Summa Psicológica*, 13(2) 117-137.
- Puche-Navarro, R. (2001). De la metáfora del niño como científico a la racionalidad mejorante. En R. Puche, D. Colinviaux & C. Dibar, (Comps.). *El niño que piensa: Un modelo de formación de maestros* (pp. 23-55). Cali: Artes Gráficas del Valle.
- Puche-Navarro, R. (2003). *El niño que piensa y vuelve a pensar*. Cali: Artes Gráficas del Valle.
- Puche-Navarro, R. (2005). *Formación de herramientas científicas en el niño pequeño* [Formation of scientific tools in the young child]. Cali: Arango Editores.
- Puche-Navarro, R., & Marti, E. (2011) Metodologías del cambio. *Infancia y Aprendizaje*, 34(2), 131-139.
- Puche-Navarro, R., Colinviaux, D., & Dibar, C. (Eds.). (2001). *El niño que piensa: Un modelo de formación de maestros* [The child who thinks: A model of formation of teachers]. Cali: Artes Gráficas del Valle Editores.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K., & Reiner, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *Journal of the Learning Sciences*, 1(2), 201- 238.
- Schulz, L. E., & Gopnik, A. (2004). Causal learning across domains. *Developmental Psychology*, 40(2), 162–76. doi:10.1037/0012-1649.40.2.162
- Seiver, E., Gopnik, A., & Goodman, N. (2012). Did she jump because she was the big sister or because the trampoline was safe? Causal inference and the development of social attribution. *Child Development*, 82(2), 443-454. doi: 10.1111/j.1467-8624.2012.01865.x
- Shaklee, H., Elek, S. (1988). Cause and covariate: Development of two related concepts. *Cognitive Development*, 3, 1-13. doi: 10.1016/0885-2014(88)90027 5

- Sobel, D. M., Yoachim, C. M., Gopnik, A., Meltzoff, A. N., & Blumenthal, E. J. (2007). The blicket within: Preschoolers' inferences about insides and causes. *Journal of Cognition and Development*, 8(2), 159-182.
- Sobel, D., & Munro, S. (2009). Domain generality and specificity in children's causal inference about ambiguous data. *Developmental Psychology*, 45(2), 511–524. doi: 10.1037/a0014944
- Sobel, D., Tenenbaum, J., & Gopnik, A. (2004). Children's causal inferences from indirect evidence: Backwards blocking and Bayesian reasoning in preschoolers. *Cognitive Science* 28(3):303-333.
- Sodian, B., Zaitchik, D., & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development*, 62(4): 753-766.
- Steenbeek, H., Van Geert, P., & van Dijk, M. (2011). The dynamics of children's science and technology talents: A conceptual framework for early science education. *Netherlands Journal of Psychology*, 66, 96-109.
- Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23, 488-511.
- Triona, L. M., & Klahr, D. (2003). Point and click or grab and heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, 21(2), 149-173.
- Wilkening, F., & Sodian, B. (2005). Scientific reasoning in young children: Introduction. *Swiss Journal of Psychology*, 64(3), 137-139. doi:10.1024/1421-0185.64.3.137
- Wu, R., Gopnik, A., Richardson, D. C., & Kirkham, N. Z. (2011). Infants learn about objects from statistics and people. *Developmental Psychology*, 47(5), 1220-1229. doi: 10.1037/a0024023
- Zhu, L. & Gigerenzer, G. (2006). Children can solve Bayesian problems: The role of representation in mental computation. *Cognition*, 98, 287-308.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20(1), 99–149. doi:10.1006/drev.1999.0497
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223. doi:10.1016/j.dr.2006.12.001

CAPÍTULO 2. VARIABILIDAD Y PATRONES DE CAMBIO INTRA E INTER-INDIVIDUALES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA EXPERIMENTACIÓN EN NIÑOS.

En el presente capítulo se ofrece un corpus empírico para dar cuenta del abordaje del pensamiento científico desde la teoría de sistemas dinámicos no lineales. Se explora el funcionamiento de la experimentación en niños en edad pre-escolar como una característica del pensamiento científico. Para ello se describen las regularidades que presenta el funcionamiento de la experimentación en 37 niños con edades entre los 5 y los 5.11 años, y la manera en que dichas regularidades se relacionan con la variabilidad que es inherente al pensamiento científico. Esto se realiza por medio del análisis de la relación que se establece entre la estructura de tres tareas de resolución de problema con objetos en movimiento derivadas de la situación clásica piagetiana de la rampa, las trayectorias variables que describen los desempeños de los participantes, y los patrones de variabilidad que pueden ser evidenciados al aplicar la técnica de agrupamiento de varclus a dichas trayectorias.

Los datos correspondientes a las trayectorias que describen los promedios de índice de error y de niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación son analizados con técnicas paramétricas tradicionales y con la técnica de agrupamiento de Varclus. Esto permite contrastar la manera en que ambos tipos de abordaje permiten comprender el funcionamiento de la experimentación y sirve al sustento del estudio del pensamiento científico desde teoría de sistemas dinámicos no lineales. El análisis sustenta una caracterización del micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación en niños, y de la forma en que a través de esta opera el pensamiento científico, como un proceso de carácter no-ergódico (Molenaar, 2004), de naturaleza dinámica, no lineal y compleja. De este modo se trascienden las descripciones estáticas tradicionales que definen el pensamiento científico a partir de su adecuación a criterios como el diseño de experimentos válidos, propios de la práctica científica adulta y profesional.

1 Pensamiento Científico y Experimentación

La revisión de la bibliografía sobre pensamiento científico y funcionamiento de la experimentación en niños arroja definiciones demasiado generales de estos fenómenos. Koslowski (1996) señala que buena parte de la investigación sobre razonamiento formal-operacional y sobre razonamiento causal ha examinado principalmente el razonamiento científico. Este abordaje se basa en examinar el razonamiento de los sujetos en ambientes teóricamente empobrecidos y estipulando que el desempeño correcto consiste en igualar causación con covariación. Aunque este tipo de situaciones se aproxima al tipo de predicamento que existe cuando una hipótesis plausible o no existe o ha sido descartada, este tipo de tareas provee una imagen del razonamiento causal que es, en el mejor de los casos, incompleta.

Esto equivale a decir que aún falta mucho por conocer sobre la forma en que se desarrolla el pensamiento científico y se operacionaliza a través del funcionamiento de la experimentación en niños a lo largo del tiempo. Koslowski (2008) indica que, incluso recientemente, existen dos corrientes en el estudio del pensamiento científico o causal. La primera examina las estrategias que pueden ser enmarcadas de modo independiente al contexto (Klahr, 2000; Koslowski, 1996; Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1988). El segundo estudia el contenido o la información (incluyendo información acerca de teoría o mecanismos) que la gente adquiere sobre el mundo (Carey, 1985). Sin embargo, aunque a menudo estudiados como aspectos independientes, los dos son interdependientes (Koslowski, 1996; Koslowski & Thompson, 2002), debido a la probabilidad de que una estrategia o regla que sea puesta en acción depende del sustento de la información disponible.

Como lo ha señalado Koslowski el alcance del concepto de pensamiento científico a la aplicación de estrategias específicas resulta limitado (Chen & Klahr, 2008;

Croker & Buchanan; Koerber, Sodian & Thoermer, 2005), y está ligado a nociones de la ciencia como actividad caracterizada por el diseño de investigaciones-experimentos válidos (Kuhn & Pease, 2008). Esa manera de ver la actividad científica se caracteriza por centrarse en el modo de funcionamiento cognitivo típico de los científicos adultos y profesionales. Se asume que los niños en edades tempranas no están aún en capacidad de hacer un uso auto-dirigido y eficaz del pensamiento científico (ver discusión en el capítulo 1).

Por su parte y con una posición distinta Puche-Navarro (2005) ha señalado que en el período de los 2 a los 5 años se pueden rastrear características del pensamiento racional que son atribuidas al pensamiento científico, y que son extendibles a cualquier actividad inteligente. Es decir, el pensamiento científico ya aparece como un conjunto de capacidades que poseen los niños en edad pre-escolar. Este conjunto de capacidades no se reduce a las acciones de un científico en su laboratorio sino que corresponde a capacidades y operaciones cognitivas que están muy relacionadas (Puche-Navarro, 2005) con lo que suele denominarse desde la tradición piagetiana “una racionalidad mejorante”. Desde esta perspectiva, el pensamiento científico de los niños en edad pre-escolar puede encontrarse por fuera de la escuela, en situaciones cotidianas en las que se manifiesta el carácter auto-dirigido y auto-iniciado de sus esfuerzos cognitivos (Puche-Navarro, 2005). Por medio de este tipo de funcionamiento cognitivo los niños crean teorías en acción, tal y como lo plantean Karmiloff Smith e Inhelder (1980).

En esta misma dirección el grupo Cognición y Desarrollo Representacional (CD&R), de la Universidad del Valle, desarrolla un plan de trabajo a través del cual se ha mostrado que el niño hace uso de capacidades cognitivas complejas que incluyen la realización de clasificaciones, la experimentación, la utilización de hipótesis, la planificación y la anticipación, y la utilización y manejo de la inferencia para la resolución de problemas simples (Puche-Navarro, 2005). Se asume que los niños en edad pre-escolar usan el pensamiento científico en situaciones de

resolución de problema vinculadas al funcionamiento de la experimentación en niños. Esta última sería la herramienta cognitiva gracias a la cual el niño está en capacidad de introducir procedimientos ordenados y recreados para responder a los objetivos o retos que le proponen nuevas situaciones (Puche-Navarro, 2005). Además, se afirma que cuando el niño empieza a graduar y variar sus acciones, en función de una manera de entender y modificar las exigencias del entorno, está experimentando (Puche-Navarro, 2005). Esta misma autora afirma que se considera la experimentación como un conjunto de procedimientos sistemáticos que se realizan para verificar o comprobar un camino o una idea en el plano de los hechos (Puche-Navarro, 2005). Adicionalmente señala que, desde esta perspectiva, el funcionamiento de la experimentación en niños se concibe como correspondiente, en cierto sentido, a la parte procedimental de la formulación de hipótesis, y que procesos como los de indagación y búsqueda en la resolución de situaciones, se consideran formas de experimentación (Puche-Navarro, 2005). Con base en dicha perspectiva este estudio explora el funcionamiento de la experimentación en niños, en términos de micro-desarrollo, a partir de un abordaje microgenético basado en teoría de sistemas dinámicos no lineales. Se indaga por la forma en que éste se despliega a lo largo del tiempo, y cómo a través de ésta es posible dar cuenta de las dinámicas del pensamiento científico en edades tempranas.

En una aproximación semejante a la del CD&R, desde el punto de vista de la recuperación de una definición representacional, Gopnik (2004) aborda componentes del pensamiento científico, permitiendo caracterizarlo como un funcionamiento cognitivo basado en la construcción de inferencias soportadas en evidencia, y apoyadas en mapas causales en constante construcción. De esta manera los sujetos categorizan los datos relativos a los fenómenos con los que interactúan, y descubren las regularidades -bajo la forma de relaciones legales- que se establecen entre las variables causales y no causales que determinan el funcionamiento de un sistema.

El pensamiento científico implica el uso de capacidades complejas de resolución de problema tales como las que permiten al sujeto: identificar las variables causales, que guardan relaciones entre sí y que están presentes en el sistema. Igualmente implica predecir el resultado de las posibles formas en que éstas son susceptibles de interactuar y distinguirlas de otras variables (no causales), así como establecer la naturaleza de la relación entre ellas; interpretar los datos disponibles; y, en los casos más avanzados, realizar comparaciones controladas de modo que se pueda establecer su valor de evidencia. Zimmerman (2000) plantea que estas capacidades se ponen en juego durante el funcionamiento de la experimentación. La experimentación sería una operacionalización, en situaciones de resolución de problema, del conjunto de actividades cognitivas complejas características del pensamiento científico. Esta operacionalización consiste en una interacción entre el sujeto y la situación, caracterizada por la búsqueda controlada de las regularidades que determinan las posibilidades de un sistema.

Puche-Navarro (2005) avanza en la misma dirección al plantear que el estudio del funcionamiento de la experimentación en niños permite observar la forma en que las estructuras, operaciones y procesos cognitivos se transforman en acciones, de modo que pueden ser estudiados a partir de estas mismas acciones. Este planteamiento incorpora una dimensión dinámica al estudio del pensamiento científico, caracterizándolo como un proceso que se pone en marcha en tiempo real y no únicamente como la presencia de un conocimiento estático en la mente del niño.

Otro aspecto importante de la relación entre pensamiento científico y experimentación por medio de la resolución de problemas, tiene que ver con la integración de habilidades de razonamiento y conocimiento generales y conocimientos más específicas, ligadas a las situaciones concretas de resolución de problemas (Zimmerman, 2000). Dentro de las habilidades generales se pueden describir herramientas u operaciones mentales muy precisas, tales como las vinculadas a la realización de inferencias, la clasificación, la planificación, la

utilización de hipótesis y la anticipación (Puche-Navarro, 2005). De manera complementaria se pueden plantear otras habilidades tales como la coordinación de teoría y evidencia, la evaluación de hipótesis, el control de variables asumido como coordinación de los efectos de múltiples variables (Kuhn, 2010; Kuhn y Pease, 2008). Estas habilidades pueden ser aplicadas a través de un amplio rango de áreas de contenido (Zimmerman, 2000).

En cuanto a las habilidades y conocimientos específicos, Koslowski (citado por Zimmerman, 2000) plantea que los principios de la experimentación científica se usan en conjunción con el conocimiento de los sujetos acerca del mundo. Esto incluye conocimiento acerca de la plausibilidad de que un evento determinado ocurra, conocimiento acerca de mecanismos causales, y conocimiento acerca de causas alternativas (Zimmerman, 2000). Las habilidades involucradas en el funcionamiento de la experimentación en niños tienen un rol en cambio conceptual o conocimiento científico y por ende un componente relacionado con la especificidad de dominio referente al contenido y la naturaleza del fenómeno que se intenta comprender.

Finalmente, la articulación entre razonamiento científico y experimentación permite avanzar sobre las perspectivas analógicas, estáticas y lineales del pensamiento científico (ver capítulo 1). Las perspectivas analógicas se caracterizan por reducirlo a estrategias específicas, o a la realización de actividades que se sucederían una a otra en la forma de diseño de experimentos o a la evaluación adulta de evidencia. En contraste, una perspectiva metafórica permite recuperar la naturaleza dinámica, compleja, no lineal e interaccional que caracteriza al pensamiento científico y a la experimentación.

Concepciones tradicionales de la experimentación

A lo largo de las últimas décadas se han propuesto diferentes definiciones de la experimentación. En primer lugar, aparecen las definiciones que equiparan la

experimentación a la estrategia de control de variables (Chen & Klahr, 2008; Chen & Klahr, 1999), asumida como la capacidad de los sujetos para llevar a cabo un proceso de aislamiento de variables (Zimmerman, 2000). Esta habilidad, según algunos autores (Klahr & Nigam, 2004) podría ser enseñada a estudiantes en edades escolares. Esta perspectiva se caracteriza por el hecho de que presenta el control de variables en relación con el diseño de experimentos válidos como criterio de la presencia del pensamiento científico.

Otro enfoque denominado de experimentación auténtica, intenta caracterizar la experimentación a partir de la identificación de una cuestión o cuestiones científicas en los niños. Esta perspectiva enfatiza, desde un modelo escolar, en diseño de una investigación, el examen y el análisis de datos empíricos, y el establecimiento de inferencias y conclusiones con su correspondiente justificación por parte de los niños (Klahr, 2000; Kuhn & Pease, 2008)

Esta clase de abordajes analógicos no permite observar la manera como interactúan entre sí todas las actividades implicadas en la experimentación, ni cómo se desarrollan en niños en edades tempranas. En ambos casos, la reducción de la experimentación a un procedimiento de tipo lineal impide apreciar su complejidad a través de la interacción de las actividades cognitivas que integran el pensamiento científico, tales como la coordinación de efectos de múltiples variables, la evaluación de evidencia/hipótesis, y el razonamiento causal. Dado que estas actividades *interactúan* durante la experimentación, para un segundo grupo de abordajes ésta consiste en un conjunto de procesos sometidos a constante desarrollo y tan complejos que resulta difícil establecer una caracterización que sea definitiva y excluyente (Kuhn & Pease, 2008; Lehrer & Schauble, 2008). Kuhn, Pease, Lordanou y Wirkala (2009) postulan que la actividad por medio de la cual los sujetos identifican las variables causales y no causales presentes en un sistema, y comprenden el campo de probabilidades que rige sus posibles interacciones, equivale a la coordinación de los efectos de las mismas en contextos multivariados. Dicha actividad estaría en constante

interacción con los procesos señalados por Kuhn y Pease (2008) como componentes complementarios del pensamiento científico.

Kuhn y Pease (2008) presentan la experimentación como un proceso auto-dirigido que implica:

La comprensión y consciencia continua de sus objetivos; la capacidad de atender a la evidencia e identificar patrones a partir de la misma; la realización de comparaciones controladas; la interpretación de datos cada vez más complejos (que incluyen efectos probabilísticos e interaccionales); la justificación de las afirmaciones; la extracción de conclusiones justificadas, y la capacidad de inhibir las injustificadas; la capacidad para identificar las influencias causales y no causales de múltiples variables; y la integración de las influencias de múltiples variables al predecir resultados (p.2).

Este conjunto de actividades del funcionamiento de la experimentación en niños, envuelve tanto aspectos estratégicos como epistemológicos (Kuhn & Pease, 2008), y los desarrollos en ambos campos se refuerzan mutuamente (Kuhn & Pease, 2008). La experimentación sería un proceso en el que los sujetos deben comprender que no es la acumulación de hechos objetivos sino una empresa que avanza a través de la coordinación de la evidencia con teorías en constante evolución, que son construidas por los pensadores humanos (Kuhn & Pease, 2008). La mención de Kuhn y Pease (2008) de los aspectos estratégicos que corresponden a la experimentación, abre la pregunta por cuáles son las dinámicas que caracterizan al desarrollo de las actividades implicadas en dichas estrategias, sobre todo en edades tempranas.

Se ha afirmado que al definir la experimentación, los investigadores se han hecho cada vez más conscientes de que no se debe investigar como un conjunto de pasos lógicos separados (Lehrer, Schauble & Lucas, 2008). Recientemente se considera que el funcionamiento de la experimentación se debe considerar como un conjunto de fases que están estrechamente interrelacionadas (Lehrer et al., 2008). Las anteriores caracterizaciones de la experimentación por parte de Kuhn y Pease (2008), y de Lehrer et al., (2008) pese a ser comprensivas al presentar

ésta como un fenómeno complejo, son también restrictivas en la medida en que están ligadas a una perspectiva analógica del pensamiento científico (ver Puche-Navarro, 2001). Sin embargo, aunque en la bibliografía científica no parece posible encontrar una caracterización definitiva y singular de la experimentación, sí existe cierto tipo de consenso acerca de algunas de sus características fundamentales.

Se puede afirmar que los procesos de experimentación envuelven la realización de observaciones que servirán, eventualmente, como evidencia; la cual, a su vez, será puesta en relación con la hipótesis (Zimmerman, 2000). La experimentación implica actividades cognitivas orientadas a la interacción entre las hipótesis de los sujetos y la selección y evaluación de evidencia. Adicionalmente, el funcionamiento de la experimentación incluye la coordinación de efectos de variables causales en sistemas multivariados y complejos (Kuhn et al., 2009).

Por último, durante la experimentación, los sujetos hacen uso del razonamiento causal (Koslowski & Masnick, 2002) para identificar los agentes causales presentes en el sistema con el que interactúan, y los mecanismos causales que lo caracterizan y determinan la forma en que tienen lugar las interacciones entre dichos agentes causales. De este modo los sujetos orientan su actividad al establecimiento de mapas causales (Gopnik, 2004) que den cuenta de la lógica que subyace a los fenómenos que observan.

Las habilidades de pensamiento científico hasta aquí mencionados no se suceden sino que se apoyan mutuamente, y se imbrican de modo recursivo entre sí. La evidencia que arrojan algunos estudios (Van Geert & Fischer, 2009; Van Geert & Steenbeek, 2006, Van Geert & Steenbeek, 2011; Guevara & Puche-Navarro, 2009), sustenta la afirmación de que el desarrollo de la experimentación responde a la naturaleza de un fenómeno complejo, que envuelve múltiples componentes en interacción, y que puede ser concebido como una forma compleja de sistemas auto-organizados.

A modo de balance preliminar se puede plantear que es posible asumir el funcionamiento de la experimentación en niños como un proceso dinámico. En dicho proceso las actividades cognitivas involucradas se despliegan en constante interacción y articulación entre sí, más que como pasos que se suceden de manera normativa durante la búsqueda de la solución a un problema.

Dimensión metodológica de los estudios sobre la experimentación.

El estudio del desarrollo del pensamiento científico por medio de la experimentación implica una metodología que debe trascender la identificación de la presencia de un modelo mental, o un procedimiento o estrategia particulares en diferentes grupos de edad. Un abordaje que permita profundizar en la naturaleza de la experimentación debe considerar a ésta como un *proceso* que ocurre en tiempo real, que cambia a lo largo del tiempo del desarrollo, y que está caracterizado por ser variable y fluctuante (Puche-Navarro, Combariza & Ossa, 2012) y por la *emergencia* constante de diferentes *auto-organizaciones* del sistema cognitivo. Desde este abordaje, el funcionamiento del pensamiento científico se presenta como un proceso no lineal. Dicho proceso funcionaría a partir ciclos de reflexión sobre lo ya pensado, y de revisión, que tienen lugar en todos los momentos del proceso; de manera que la comprensión alcanzada en una fase específica prolifera hacia atrás (Lehrer et al., 2008), eliminando la noción de linealidad.

Las preguntas originales de los sujetos, sus funcionamientos y representaciones de los sistemas, se modifican constantemente al operar con los datos con los que cuentan e interactuar con los objetos que estudian. Esto sustenta el abordaje de la experimentación como un proceso que no es secuencial ni lineal, sino que, al estar en relación con el pensamiento científico, responde a la naturaleza del despliegue en el tiempo de un sistema dinámico complejo y no lineal, caracterizado por la variabilidad que le es inherente. Sobre esta base conceptual, un conjunto importante de investigadores se ha venido enfocando en las

capacidades de los individuos para coordinar el conjunto de procesos relacionados con la experimentación. Dicha aproximación se ha alejado de una perspectiva analógica centrada en la ejecución correcta de un conjunto de pasos lógicos que tendrían lugar por separado (Lehrer et al., 2008).

En contraste con los estudios tradicionales, las investigaciones más recientes se han centrado preferiblemente en explorar la manera en que los sujetos operan a través de uno o varios episodios integrados de experimentación, en lugar de enfocarse en 'procesos' discretos de la misma (Klahr, 2000; Lehrer et al., 2008). Estas investigaciones se estructuran como situaciones complejas, extendidas en el tiempo, que permiten a los investigadores aproximarse a la complejidad del funcionamiento cognitivo en contextos que replican las condiciones de las situaciones reales de experimentación (Van Geert & Van Dijk, 2002; Puche-Navarro, 2006). Por el contrario, los estudios basados en episodios discretos se limitan a la observación de la forma en que se aplica una estrategia aislada para la solución de una tarea, o a describir cómo se aplica la estrategia evaluada bajo un criterio de éxito o fracaso.

Con base en lo anterior, este trabajo aborda, tanto en una escala corta como en una escala larga de tiempo, la descripción de la manera en que tiene lugar la experimentación en niños en edad pre-escolar; su carácter integral que no puede ser explicado por medio de un procedimiento cognitivo específico (como, por ejemplo, la estrategia de control de variables); y la manera en que da cuenta de la naturaleza dinámica, no lineal y compleja del micro-desarrollo del pensamiento científico. Esto se realiza, en primera instancia, por medio del recurso a un análisis estadístico tradicional destinado a establecer si existen diferencias significativas entre los desempeños de las tres tareas a pesar de que la estructura de las mismas sea similar.

Posteriormente, se procede a un estudio basado en técnicas de clustering (Varclus) de las trayectorias variables de los sujetos relativas a número de intentos y a índice de error —durante y entre el desarrollo de situaciones de resolución de problema—. Esta técnica (Varclus) permite evidenciar los patrones de variabilidad

inter-individual que se derivan de la relación que se establece entre la estructura de las tareas y las trayectorias que describen los desempeños de los participantes.

De esta manera se puede observar la forma en que fluctúan los desempeños de los sujetos tanto a nivel inter como intra-individual. También se hace posible el acceso a un conjunto de agrupaciones basadas en dichas fluctuaciones, por medio de las cuales se observa la dinámica no lineal y no ergódica de la experimentación.

Este capítulo pretende responder a las siguientes preguntas:

¿Qué características tiene el desarrollo del funcionamiento de la experimentación en niños que enfrentan situaciones de resolución de problemas multivariadas?

¿Es posible caracterizar las diferencias en los desempeños de la experimentación en función de las características particulares de las situaciones de resolución de problema, las características del fenómeno que se está intentando comprender, y el propio desempeño del niño?

¿Es posible identificar la presencia de patrones generales inter-individuales en los desempeños del funcionamiento de la experimentación en los niños?

Este es un primer paso para ahondar en la exploración de la forma en que la experimentación corresponde a un proceso que no puede ser explicado por medio del recurso a un procedimiento cognitivo específico, ni como la sucesión normativa de un conjunto de etapas, sino que consiste en una operacionalización integral del pensamiento científico, en la que se articulan, de manera auto-dirigida, los procedimientos relativos a la coordinación de efectos de múltiples variables, la revisión de evidencia y el razonamiento causal.

2 Método

2.1 Participantes

En este estudio participaron un total de 37 niños en edad pre-escolar (entre los 5 y los 5.6 años), de un nivel socio-económico medio. Todos los niños asistían al mismo colegio en la ciudad de Cali (Colombia), y estaban en el grado de transición (equivalente a la escuela elemental/kindergarten, en el sistema de los Estados Unidos).

2.2 Instrumentos

Los niños fueron confrontados, durante tres sesiones, con tres tareas en la forma de situaciones de resolución de problema de carácter multivariado (una tarea por sesión). En dichas tareas debían manipular tres tipos de variables (presentadas más adelante) con el objetivo de establecer su influencia sobre un sistema físico implementado bajo la forma de un juego de computador. La estructura del problema fue similar a la de algunos experimentos de estrategia de control de variables (Chen & Klarh, 1999). Sin embargo, éstas no presentaban variables dicotómicas y su objetivo no era la generación de experimentos válidos.

Este tipo de tarea fue escogida debido a que permite que el niño tenga que descubrir el funcionamiento de un sistema complejo. Las tareas consistieron en situaciones de resolución de problema que envolvían la comprensión de sistemas de objetos en movimiento, en los cuales el móvil debía alcanzar un objetivo específico (en todos los casos el móvil era una bola que debía alcanzar una meta). Los datos fueron recolectados usando un software integrado a la tarea, que registró la organización del sistema para cada intento. Aquí, la palabra “intento” se refiere a cada ocasión en la que el niño especificó los valores de las variables comprendidas en el sistema en movimiento, y arrojó el objeto con el fin de alcanzar la meta. Las siguientes versiones de la tarea fueron usadas:

Sesión1: Tarea A-Planos inclinados.

Sesión 2: Tarea B- Colisión.

Sesión 3: Tarea C- Movimiento Parabólico (Catapulta)

Las tareas fueron elegidas dentro del dominio de la física y basadas en los mismos principios, pero caracterizadas por poseer formatos diferentes entre sí, esto último con el fin de contrarrestar los efectos de habituación. Ellas presentaban una arquitectura medios-fines y una estructura análoga. Para las tres tareas, los niños debían manipular una combinatoria de variables ($3 \times 3 \times 2$) para conocer su influencia en un sistema físico de tal forma que puedan alcanzar una de 6 distancias objetivo.

Tarea A) Planos Inclinaados (Rampas): Para esta tarea el niño tenía que manipular la altura de la rampa, el tipo de bola y la longitud a lo largo de la cual ésta debía desplazarse sobre la rampa. En la tabla 1 se presentan las variables a ser manipuladas para cada bola:



Altura	Distancia	Tipo de bola
Alto	Largo	bola 1
Medio	Corto	bola 2

Bajo		bola 3
------	--	--------

Tabla 1. Valores de las variables para la tarea de planos inclinados.

Tarea b) Colisión: En esta tarea el niño tenía que hacer uso de un generador de impulso para poner en movimiento el móvil (uno de estos generadores es del tipo de los bates de béisbol, otro es una raqueta, y el tercero es un palo de golf). El movimiento se puede dar en dos ángulos, y consiste básicamente en empujar una de tres bolas hasta un punto determinado sobre la escala horizontal en la cual está localizada la bola. En la tabla 2 se presentan las variables a ser manipuladas para cada bola:



Objeto de impacto	Ángulo de impacto	Tipo de bola
Bate	90	bola 1
Palo de Golf	45	bola 2
Raqueta		bola 3

Tabla 2. Valores de las variables para la tarea de colisión.

Tarea C) Movimiento Parabólico (Catapulta): En esta tarea el niño tenía que manipular un dispositivo de catapulta, disponiendo tres diferentes posibles proyectiles, con tres contrapesos, en dos posiciones posibles. En la tabla 3 se presentan las variables a ser manipuladas para cada bola:



Masa del contrapeso	Ubicación del contrapeso	Masa del proyectil
Masa 1	Largo	Masa 1
Masa 2	Corto	Masa 2
Masa 3		Masa 3

Tabla 3. Valores de las variables para la tarea de movimiento parabólico.

Debido a que el estudio pretende describir cambios en una escala de tiempo muy corta, se hizo uso de un diseño microgenético, el cual permite la comprensión de la interacción entre múltiples variables, y la anticipación activa de los efectos de los valores cambiantes sobre dichas variables.

Procedimiento

Este estudio de caso múltiple tiene un diseño mixto, e incluye análisis de eventos en el corto tiempo y análisis de eventos en tiempos largos. Una caracterización de los niveles de funcionamiento y de los índices de error de los sujetos en la experimentación fue codificada a partir de las acciones de los niños. Esto se realizó con base en la interacción, por parte de los niños, con la tarea. Estas acciones dieron cuenta de las hipótesis, la evaluación de la evidencia y/o la manera en la que los niños reconsideraban teorías a la luz de evidencia contradictoria.

Después de recibir la aprobación de los cuidadores de los niños, estos fueron confrontados con las tres tareas (con intervalos de 2 semanas entre las sesiones). Ninguno de los participantes había recibido información previamente acerca del contenido de las tareas.

Para todas las tareas y en cada sesión, fue presentada una historia de familiarización, y se permitió a los niños manipular libremente los elementos de las tareas. Esta condición respondió a la necesidad de dar seguridad al investigador sobre la comprensión de los niños acerca de la consigna, y de las variables envueltas en la construcción de cada una de las tres tareas.

Durante el desarrollo de las tareas los niños fueron confrontados ya fuera con la tarea A, la B o la C. Todas las tareas fueron presentadas en el mismo orden (A,B y C). Un experimentador estuvo siempre presente, introduciendo la tarea e indicando los puntos objetivos hacia los que los niños debían dirigir el móvil en cada ocasión. El experimentador no interfirió o ayudó a los niños a alcanzar los objetivos. Las tareas fueron llevadas a cabo en los hogares de los niños, en un cuarto separado.

Se le pidió a los niños alcanzar seis distancias diferentes con la bola, y se les dio un máximo de diez intentos para alcanzar el objetivo, después de los cuales era presentado el siguiente objetivo. Las distancias están numeradas en función de su distancia, siendo 1 la más cercana y 6 la más distante. Estas situaciones requieren

la comprensión de la interacción de múltiples variables, y la anticipación activa de los efectos del cambio de los valores de esas variables.

El orden en el cual las distancias objetivo fueron presentadas fue determinado por la probabilidad de que el objetivo fuera alcanzado por azar. Se eligió este criterio para ajustar gradualmente el nivel de dificultad (de menos a más). Éstas fueron presentadas de acuerdo con las combinaciones de valores de variables que eran necesarias para alcanzar la distancia objetivo (ver tabla 4).

Distancias	Probabilidad
3 y 4	.28
2 y 5	.17
1 y 6	.05

Tabla 4. Probabilidad *a priori* de alcanzar los objetivos de la tarea con acción aleatoria.

En los primeros tres intentos en cada sesión las distancias fueron presentadas gradualmente en orden de la probabilidad de que el objetivo fuera alcanzado por puro azar, partiendo del más probable hasta el menos probable³. En los intentos 4, 5 y 6 este orden de probabilidad fue reiniciado con los restantes objetivos. Así, se presentaron las distancias en el siguiente orden: 3, 2, 1, 4, 5, 6

Los datos fueron recolectados utilizando software que registró la configuración del sistema para cada intento. Posteriormente, cada intento fue puntuado durante una sesión de codificación, haciendo uso de una hoja de cálculo de Excel, programada para puntuar los intentos en términos de los niveles de desempeño.

3 Análisis

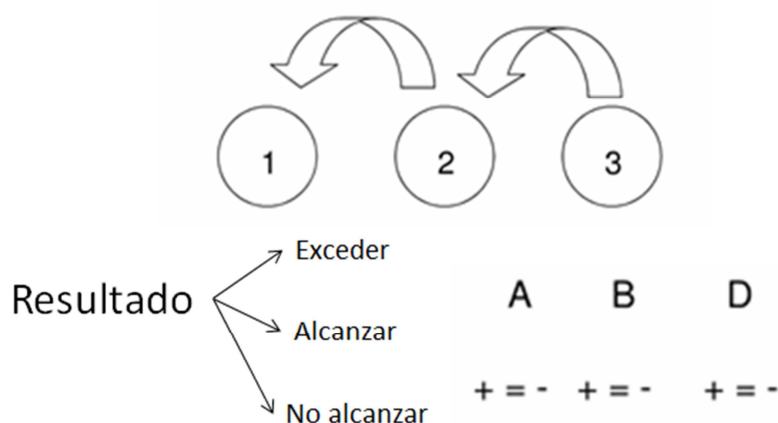
Construcción de las escalas: los niveles de funcionamiento experimentación y el índice de error. Este estudio, se centró en dos medidas como indicadores de desempeño en cada sesión. Estos son: 1) los niveles de funcionamiento de la experimentación y 2) el índice de

³ Esto se hizo para ajustar el nivel de dificultad de la tarea de acuerdo con la complejidad de las combinaciones en el movimiento del sistema

error. En primer lugar, el desempeño del niño fue puntuado en base a los ajustes realizados por niños en las variables de la tarea con el fin de alcanzar un objetivo.

Para cada intento (cada vez que el niño especifica los valores de las variables en la tarea y lanza el objeto de alcanzar un objetivo) se obtuvo una puntuación dentro de una escala de 9 niveles, establecido con relación con el intento anterior (correspondiendo 1 al funcionamiento menos complejo y 9 al más complejo).

Por cada intento del niño puede recibir uno de tres resultados (exceder posición objetivo, alcanzar el objetivo, no alcanzar la posición objetivo) y ajustar tres variables (A, B y / o D) aumentando, disminuir o no cambiar los valores.



Los niveles están organizados jerárquicamente a partir del uso de la retroalimentación de la tarea (uso de la información del intento anterior relacionando la distancia alcanzada vs. la distancia objetivo), la coordinación de variables (sincronización de los valores de las variables para hacer que el objeto se desplace en una dirección), aislamiento de variables y el éxito de llegar a la meta. A continuación, se presenta una descripción gráfica de desempeño de nivel bajo y procedimientos que lo caracterizan:



Intento X

Ajustes
Bola -1
Angulo +1

Ajuste de múltiples variables (bola y Angulo)

Sin ajuste de la magnitud (uno reduce el otro aumenta)

Sin coordinación con la información previa (la meta parcial era reducir la distancia)



Intento X+1

En el intento anterior, el objeto en movimiento no alcanzó el objetivo, sino que lo superó. Para el siguiente intento, en la que el resultado fue similar, el niño hace un ajuste con múltiples variables (bola-1; ángulo de + 1); no coordinar la magnitud de estos ajustes, y no coordinar los valores de las variables usando la información previa con el fin de reducir la distancia alcanzada. Este intento es clasificado en el nivel 2 según la tabla 5. Las calificaciones se calculan automáticamente por un algoritmo dentro de la base de datos. A continuación, se presenta un nivel de desempeño superior, y los procedimientos del niño que lo caracterizan:



Intento X

Ajustes
Bola -2

Aislamiento de Variables

Coordinación de la magnitud (las variables reducen la distancia)

Coordinación con la información previa (la meta parcial era reducir la distancia)



Intento X+1

En este ejemplo, en el intento previo, la bola no llegó al objetivo, sino que lo excedió. El niño entonces procedió aislar una variable (bola), coordinando la magnitud de su ajuste y coordinar retroalimentación previa con el fin de alcanzar la meta parcial consistente en la reducción de la distancia. Este intento es clasificado en el nivel 7 de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 5

Los niveles de funcionamiento de la experimentación que describen el desempeño en cada intento individuo

	Nivel	Uso de la información de retroalimentación	Coordinación de variables	Aislamiento de variables	Exito
1	Reiteración de magnitudes entre los intentos	Ausencia del uso sistemático de la información de retroalimentación	Sin coordinación de variables	Sin aislamiento de variables	Sin alcanzar la distancia objetivo
2	Ajuste básico sin coordinación de la magnitud ni coordinación de la información previa.				
3	Ajuste básico con coordinación de la magnitud pero sin coordinación de la información previa.		Con coordinación de variables	Con Aislamiento de variables	
4	Ajuste básico con aislamiento de variables pero sin coordinación de la información previa.				
5	Ajustes de múltiples variables sin coordinación de la magnitud pero coordinada con la información previa	Presencia del uso sistemático de la información de retroalimentación	Sin coordinación de variables	Sin Aislamiento de variables	
6	Ajuste con múltiples variables con coordinación de magnitudes e información previa y parcialmente adaptada a la meta		Con coordinación de variables	Con Aislamiento de variables	
7	Ajuste sistemático con aislamiento de variables con coordinación de magnitudes e información previa y parcialmente adaptada a la meta				
8	Ajuste con múltiples variables con coordinación de magnitudes e			Sin Aislamiento de variables	

	información previa alcanzando el objetivo				
9	Ajuste sistemático con aislamiento de variables con coordinación de magnitudes e información previa alcanzando el objetivo			Con Aislamiento de variables	

Esta forma de codificación se completó con la determinación del índice de error, que se calcula como la suma de las distancias absolutas entre el objetivo y el resultado obtenido para todos los intentos sobre el mismo objetivo. Hay 6 índices de error por sesión. En el siguiente ejemplo, se presentan las medidas de índice de error sobre tres intentos. En el primer intento, el objetivo se encuentra a una distancia de 5, y el alcanza la distancia de 3, de modo que el índice de error es 2.

Índice de error

La suma de las
distancias
absolutas entre

Objetivo	Resultado	Error
5	3	2
5	4	1
5	5	0
Error Total		3

Tabla 5, que se muestra a continuación, resume los niveles de investigación que resultan de los principios de codificación seguido por el algoritmo de puntuación descrito anteriormente:

Las dos escalas (Los niveles de funcionamiento de la experimentación y el índice de error) se establecen directamente sobre las acciones del niño y registradas y

puntuadas por el software. Las sesiones fueron además video-grabadas y se recogieron verbalizaciones y gestos. No obstante, dichas verbalizaciones y gestos solo serán retomadas a para complementar algunas descripciones y no serán analizadas para este trabajo. Se prevé profundizar en ellas en trabajos futuros.

El análisis está basado, en la descripción de los niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación y los índices de error de los 37 participantes. En primer lugar, los datos en bruto fueron organizados por medio de la técnica de agrupamiento (clustering) de Varclus.

Pero antes del análisis con técnica de Varclus se realizaron pruebas estadísticas tradicionales para identificar si existen diferencias entre las tareas. Sin embargo, como las técnicas tradicionales no pueden dar cuenta de las dinámicas de los sistemas dinámicos complejos, posteriormente se procede a aplicar la técnica de Varclus a los promedios de desempeño en el funcionamiento de la experimentación y a los promedios de índice de error en el funcionamiento de la experimentación.

Aunque esta técnica no fue desarrollada como metodología de sistemas dinámicos no lineales, permite profundizar en las características de las diferencias encontradas durante el primer análisis, y sienta las bases para un abordaje, en el capítulo 3, que dé cuenta de la variabilidad y las trayectorias no lineales del funcionamiento de la experimentación

La técnica de Varclus permite dividir un conjunto de variables de tal manera que éstas puedan ser agrupadas en clusters independientes, susceptibles de ser interpretados como unidimensionales. Dichas agrupaciones están constituidas por objetos que son similares en sus características fundamentales, dependiendo de los criterios elegidos para establecer dicha similitud, los cuales dependen de la implementación que se haga de los datos.

Esta técnica puede ser utilizada como un método que sirve a la reducción de variables, de modo que un conjunto grande de éstas se reduzca a un conjunto de componentes agrupados, sin que ello implique mayor pérdida de información.

Debido a lo anterior estas agrupaciones (clusters) no dan cuenta de toda la varianza que caracteriza a los componentes principales del proceso o sistema a

ser estudiado. Sin embargo, la técnica de Varclus hace más fácil la interpretación de la misma.

Aunque las técnicas de agrupación (clustering) suelen ser confundidas con técnicas de clasificación, existen diferencias importantes entre ambos tipos de análisis. La principal de dichas diferencias consiste en el hecho de que en la clasificación las clases están pre-definidas, mientras que en las técnicas de agrupación las clases son definidas con base en los resultados del análisis. Por tanto, en las técnicas de agrupación, la información que reviste un carácter similar en términos lógicos es almacenada en un mismo cluster, de modo *ex post facto*.

En este estudio, los índices de error, y los niveles de desempeño de los 37 niños participantes han sido agrupados, por medio de un algoritmo computacional, con base en las tendencias que describen sus desempeños en las tres tareas (tres sesiones, una para cada tarea).

El resultado de este proceso es un conjunto de matrices de similitud. Dichas matrices permiten describir las diferencias inter-individuales en el dominio de la experimentación; los patrones de desempeño encontrados entre tareas y al interior de las mismas; la existencia o inexistencia de correspondencia entre el índice de error y los niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación observados en los sujetos; y los patrones de variabilidad significativos en dicha muestra que estén relacionados con las diferentes tareas.

4 Resultados

A continuación se presentan los resultados con base en el análisis obtenido a partir de la aplicación de distintos tipos de técnicas a los datos correspondientes a los niveles de desempeño y al índice de error para las tres tareas.

En primera instancia se analizan los datos correspondientes a la distribución de los distintos desempeños observados en el funcionamiento de la experimentación. Posteriormente se realiza una comparación del índice de error entre tareas, orientada a encontrar diferencias entre estas a partir del recurso a análisis paramétricos.

En la segunda parte de este apartado se presentan, a partir de la aplicación de la técnica de agrupamiento de Varclus, los resultados correspondientes a la forma en que se agrupan los participantes según los promedios de funcionamiento de la experimentación obtenidos con base en los desempeños. Posteriormente se presentan las agrupaciones resultantes de la aplicación de la técnica de Varclus a los índices de error. Por último, se presentan las agrupaciones promedio para cada objetivo en las tres tareas.

4.1 Distribución de desempeños en el funcionamiento de la experimentación

En este apartado se revisa la distribución de los puntajes de los desempeños en el funcionamiento de la experimentación para los 37 niños. Esto se realiza con el objetivo de presentar una descripción general de los desempeños de los sujetos durante las tres sesiones. Las distribuciones han sido ajustadas en forma de rangos.

Con el fin de hacer más fácil la manipulación de los datos, los puntajes de desempeños en el funcionamiento de la experimentación, de la escala de 1 a 9, fueron reagrupados en cuatro rangos de los más simples (rango 1) a los más complejos (rango 4): el rango 1, agrupa los puntajes de 1 a 3; el rango 2 agrupa los puntajes de 4 a 5; el rango 3 agrupa los puntajes de 6 a 7, y finalmente los puntajes resolutorios, 8 y 9 fueron incluidos en el rango 4.

En las figuras 1 y 2, resumidas numéricamente en el cuadro 1, se muestran los desempeños de los niños participantes:

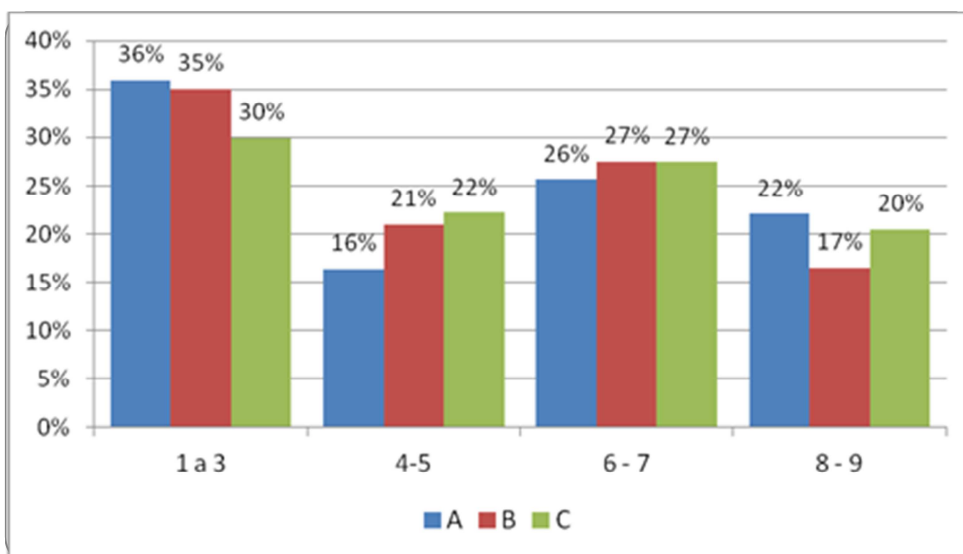
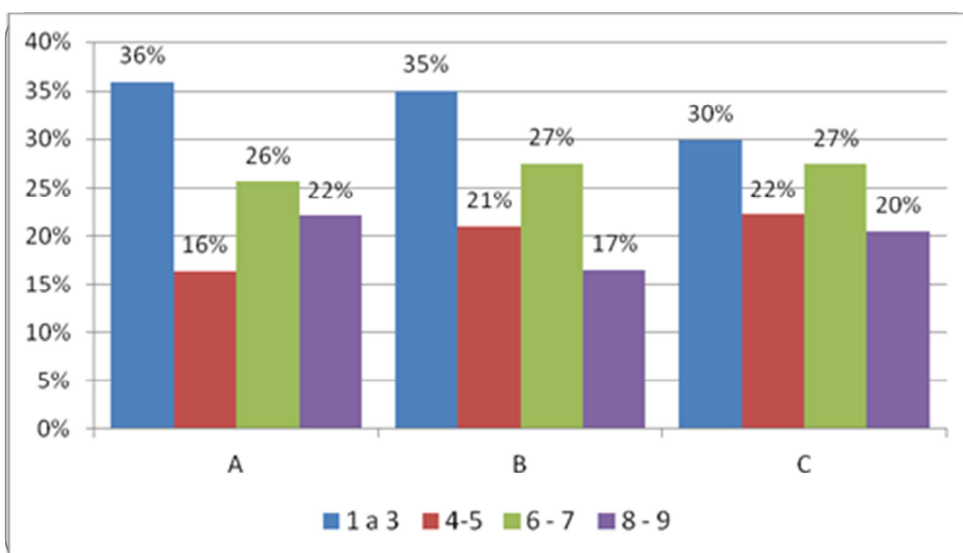


Figura 1. Distribución de niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación.



Cuadro 1. Distribución porcentual de niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación para las tres tareas.

	A	B	C
1 a 3	36%	35%	30%
4-5	16%	21%	22%
6 - 7	26%	27%	27%
8 - 9	22%	17%	20%

En las figuras 1 y 2, se evidencia una reducción creciente en el rango 1, que se reduce **linealmente entre sesiones** (tarea A: 36%; tarea B: 35%; tarea C: 30%).

Por otra parte, se observa una tendencia opuesta en lo que concierne al rango 2, que tiende a **ascender linealmente** (tarea A: 16%; tarea B: 21%; tarea: 22%).

El rango 3 se muestra estable entre sesiones (tarea A: 26%; tarea B: 27%; tarea C: 27%). Por último, el rango 4 oscila entre las tres sesiones, presentado primero un decremento en el paso de la tarea A a la B (22% y 17% respectivamente), y posteriormente un incremento en el paso de la tarea B a la C (17% y 20% respectivamente) que no alcanza a equiparar el porcentaje inicial en la tarea A.

4.2 Diferencias en el índice de error entre tareas

A continuación se presentan los estadísticos descriptivos para las tres tareas. Asimismo, se revisan y comparan los índices de error de dichas tareas (Ver tabla 4).

		A	B	C
N	Válidos	37	37	37
	Perdidos	0	0	0
Media		5,9862	8,8738	7,1162
Mediana		5,6700 ^a	8,7200 ^a	6,9433 ^a
Moda		2,67 ^b	6,67	4,50
Desv. típ.		3,38786	2,62648	3,67069
Asimetría		,701	,270	,143
Error típ. de asimetría		,388	,388	,388
Curtosis		-,296	-,219	-,848
Error típ. de curtosis		,759	,759	,759
Rango		12,67	10,50	14,16
Mínimo		,83	4,17	1,17
Máximo		13,50	14,67	15,33
Suma		221,49	328,33	263,30
Percentiles	25	3,3583 ^c	7,1275 ^c	4,2938 ^c
	50	5,6700	8,7200	6,9433
	75	8,3725	10,4975	10,4150

		A	B	C
N	Válidos	37	37	37
	Perdidos	0	0	0
Media		5,9862	8,8738	7,1162
Mediana		5,6700 ^a	8,7200 ^a	6,9433 ^a
Moda		2,67 ^b	6,67	4,50
Desv. típ.		3,38786	2,62648	3,67069
Asimetría		,701	,270	,143
Error típ. de asimetría		,388	,388	,388
Curtosis		-,296	-,219	-,848
Error típ. de curtosis		,759	,759	,759
Rango		12,67	10,50	14,16
Mínimo		,83	4,17	1,17
Máximo		13,50	14,67	15,33
Suma		221,49	328,33	263,30
Percentiles	25	3,3583 ^c	7,1275 ^c	4,2938 ^c
	50	5,6700	8,7200	6,9433
	75	8,3725	10,4975	10,4150

Tabla 4. Estadísticos.

a. Calculado a partir de los datos agrupados.

b. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

c. Los percentiles se calcularán a partir de los datos agrupados.

Los valores medios de las tres pruebas sugieren la existencia de diferencias entre ellas. Se aprecia una Media superior en la prueba B (8,87) seguido por C (7,11), y éste, a su vez, por el valor medio de la tarea A (5,98). Esta misma diferencia en los valores se mantiene para la Mediana y la Moda.

El rango de los valores presentados en las diferentes pruebas muestra una amplitud diferente entre ellas, que es mayor en la tarea C, seguida por la tarea A, y que aparece como menor en la tarea B. Esto indica una mayor concentración de los datos en la tarea B, seguida por la que se presenta en la tarea A, y ésta, a su vez, por la que corresponde a la tarea C. El conjunto de estos datos es corroborado por los valores obtenidos a partir de las desviaciones de cada prueba.

Los percentiles permiten observar qué tan agrupados están los datos. A este respecto, se aprecia que, en el caso de la tarea A, el 25% de los valores están por debajo de 3,35; en la tarea B, el mismo porcentaje está por debajo de 7,12, mientras que en la tarea C, este porcentaje le corresponde a los valores por debajo de 4,29. Esto indica que en la prueba A el promedio de puntajes fue menor al de las otras tareas. Estas mismas diferencias y posiciones se observan para los percentiles 50 (mediana).

Complementariamente, para el percentil 75, los valores obtenidos en las pruebas B y C presentan resultados medios muy similares, arrojando valores de 10,49 y 10,41, lo que indica que la prueba C presentó un aumento en los valores que aparecen entre el percentil 50 al 75, cuando es comparada con lo observado en las tareas A y B.

Mediante las gráficas de A, B y C, se ilustra la forma en que las tareas se asemejan a una curva normal. Esta condición es necesaria para que los datos puedan ser sometidos a pruebas de tipo paramétrico.

En la figura 3 se presentan los datos estadísticos de la media encontrada para la tarea A:

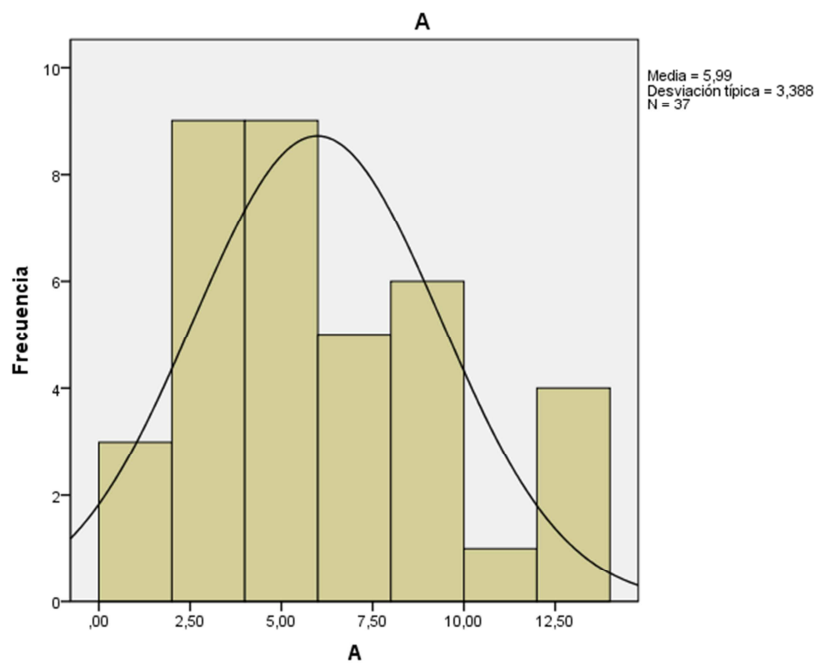


Figura 3. Estadísticos, media para la tarea A

En la figura 4 se presentan los estadísticos de los datos de la media encontrados para la tarea B:

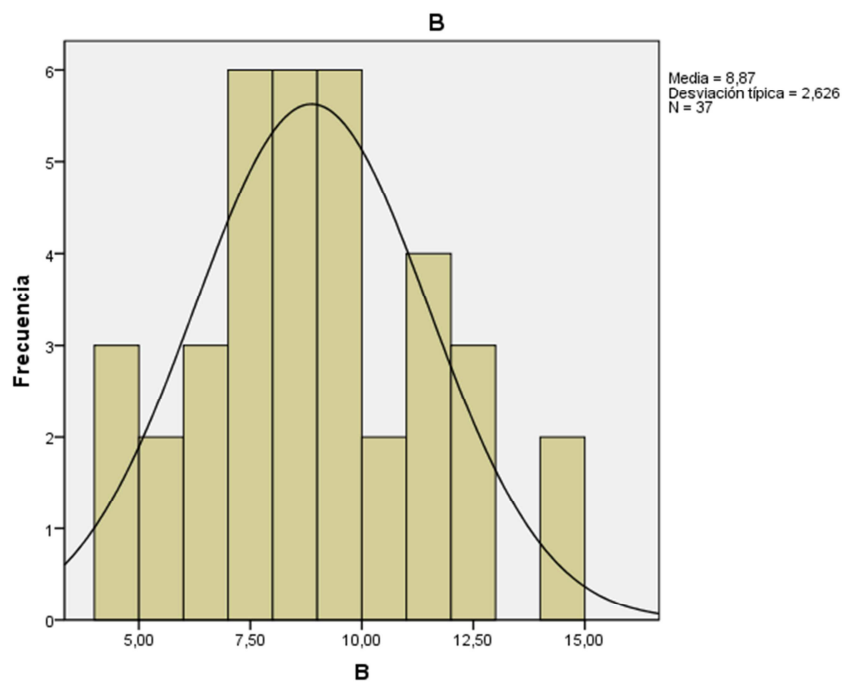


Figura 4. Estadísticos. Media para la tarea B.

En la figura 5 se presentan los datos estadísticos encontrados para la media de la tarea C:

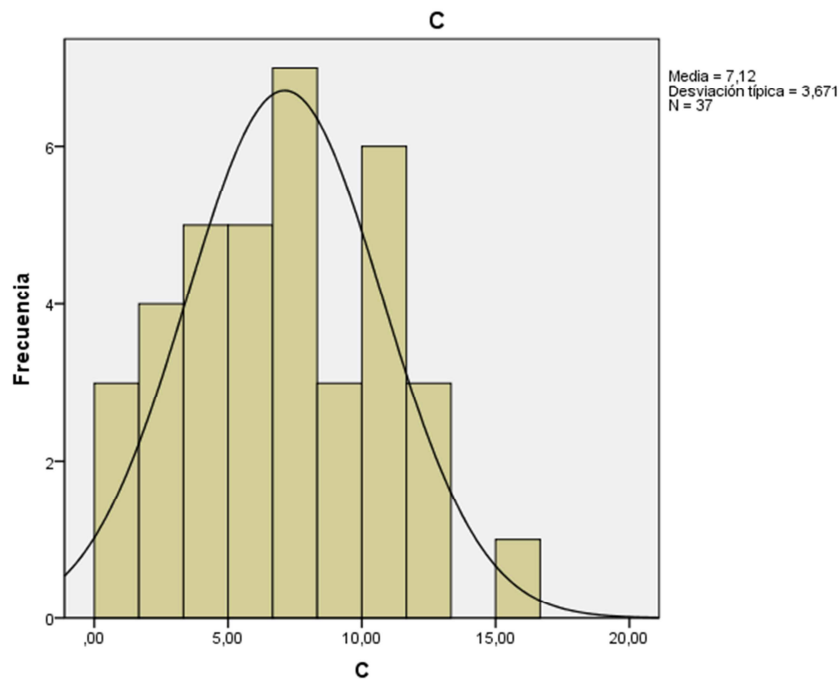


Figura 5. Estadísticos. Media para la tarea C.

La revisión de las figuras 3 a 5 muestra que existen diferencias entre las pruebas, apareciendo tarea B como la más difícil. Tras la constatación de las diferencias entre las pruebas a partir de la revisión de las medias correspondientes a los datos descriptivos, se procede a la presentación de las pruebas estadísticas que permiten determinar si existe significancia entre las medias de cada prueba.

A este respecto, es importante establecer, en primera instancia, si los datos presentan normalidad. La prueba de Kolmogorov-Smirnov arrojó un valor $p > 0,2$ (mayor a 0,05), lo que indica normalidad entre los datos. Eso se puede apreciar en la tabla 5:

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
VAR00001	,064	111	,200	,982	111	,143

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
VAR00001	,064	111	,200 [*]	,982	111	,143

Tabla 5. Pruebas de normalidad

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera

A continuación, se presenta el tratamiento de los datos por medio del gráfico Q-Q.

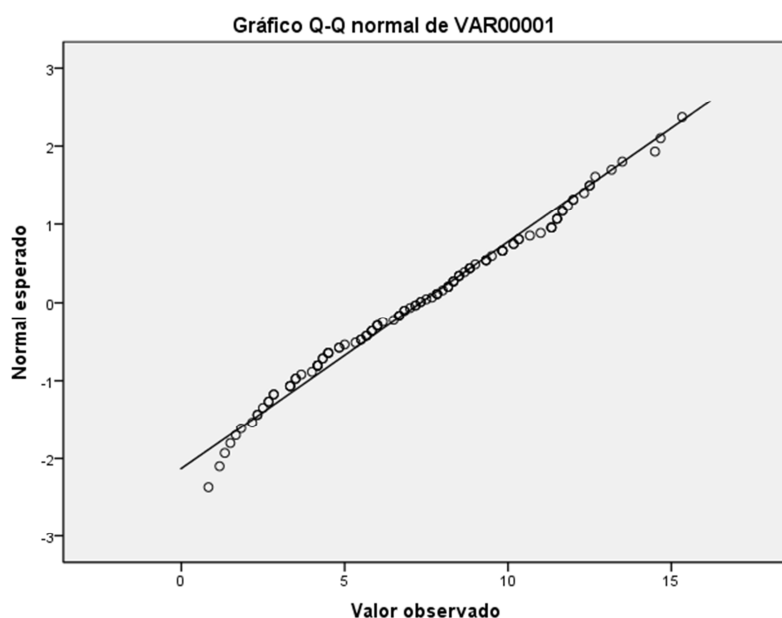


Gráfico 1. Q.Q.

Mediante el gráfico de Q-Q se puede observar la forma en que los valores están muy cerca a la línea normal, lo que verifica el criterio de normalidad para este sistema.

La tabla 6, que se presenta a continuación, compara las varianzas entre las tareas.

VAR00001

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,748	2	108	,069

Tabla 6. Prueba de homogeneidad de varianzas

Como se puede observar por medio de la tabla 6, se encontró homogeneidad entre varianzas.

Complementariamente, mediante el estadístico de Levene, se puede verificar el criterio de Homogeneidad de la varianza, que es el de mayor importancia entre los criterios para poder realizar pruebas paramétricas.

El resultado es mayor a 0.05 ($P=0.069$). A pesar de ello, los datos pueden ser considerados como cercanos al rango de la significancia. Además, el promedio obtenido es lo suficientemente pequeño como para hacer posible la continuación del análisis por medio de la ANOVA. Esto se muestra en la tabla 7:

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	156,683	2	78,341	7,379	,001
Intra-grupos	1146,598	108	10,617		
Total	1303,281	110			

Tabla 7. ANOVA.

VAR00001

La prueba ANOVA arroja un valor del estadístico de prueba de $F=7,379$, el cual es significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significancia. Esto indica que existe diferencia entre las medias de al menos una de las pruebas en comparación con las otras. Por este motivo, a continuación se realiza una prueba PST-ANOVA, con el objetivo de determinar en qué tarea se presenta dicha diferencia.

Para ello, se realizaron dos pruebas, las cuales presentan diferencias en lo que respecta a su fuerza estadística. El objetivo de este procedimiento es el de validar la significancia entre ambas pruebas, de modo que sea posible establecer si sus valores p mantienen un criterio que permita determinar la presencia de una diferencia significativa entre las medias.

Mediante la Prueba de Tukey y Bonferroni podemos determinar que la tarea que presenta diferencias más significativas entre sus medias es la B. Las tareas A y C no presentan diferencias significativas entre ellas. Los resultados correspondientes a esta prueba se muestran en la tabla 8:

		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
(I) VAR00002	(J) VAR00002				Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	de 1,00 2,00	-2,88757 [*]	,75754	,001	-4,6878	-1,0873
	3,00	-1,13000	,75754	,299	-2,9303	,6703
	2,00 1,00	2,88757 [*]	,75754	,001	1,0873	4,6878

		3,00	1,75757	,75754	,057	-,0427	3,5578
	3,00	1,00	1,13000	,75754	,299	-,6703	2,9303
		2,00	-1,75757	,75754	,057	-3,5578	,0427
Bonferroni	1,00	2,00	-2,88757	,75754	,001	-4,7298	-1,0453
		3,00	-1,13000	,75754	,416	-2,9722	,7122
	2,00	1,00	2,88757	,75754	,001	1,0453	4,7298
		3,00	1,75757	,75754	,067	-,0847	3,5998
	3,00	1,00	1,13000	,75754	,416	-,7122	2,9722
		2,00	-1,75757	,75754	,067	-3,5998	,0847

Tabla 8. Comparaciones múltiples.

Variable dependiente:VAR00001

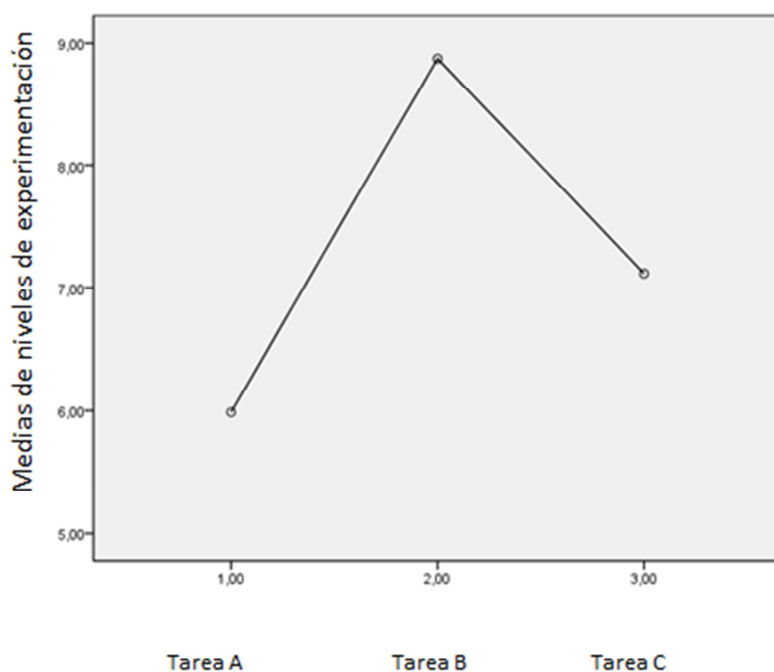


Gráfico 2.

Estos análisis estadísticos clásicos, de carácter lineal, sirven para confirmar que los niños asumen las tareas como diferentes, aunque su estructura sea similar. La figura 4 confirma que la tarea B es la que posee una diferencia más significativa en términos de medias y tiene un valor más alto. La diferencia de medias es de 0.05, y las tareas B y C aparecen como bastante similares.

El paso siguiente es profundizar en el establecimiento de la forma en que se manifiestan las diferencias entre desempeños en las tres tareas. Con este fin se recurre a la técnica de agrupamiento de Varclus, que permite observar, por medio del agrupamiento de las trayectorias correspondientes a los promedios de índice de error y de niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación, cómo se comportan ambas medidas en detalle, y cuáles son las tendencias locales que se establecen a partir de las mismas.

4.3 Agrupaciones de desempeño según niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación

El primer cálculo de Varclus se realiza a partir de los promedios totales de los niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación para cada una de las tareas. A partir de este cálculo se obtienen tres agrupaciones, conformadas a partir de patrones de desempeño similares. A continuación se presentan los datos correspondientes a cada una de estas agrupaciones, seguidos de su descripción.

4.3.1 Agrupación I por niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación

La figura 7 muestra la primera agrupación según niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación encontrada por medio de la técnica de Varclus:

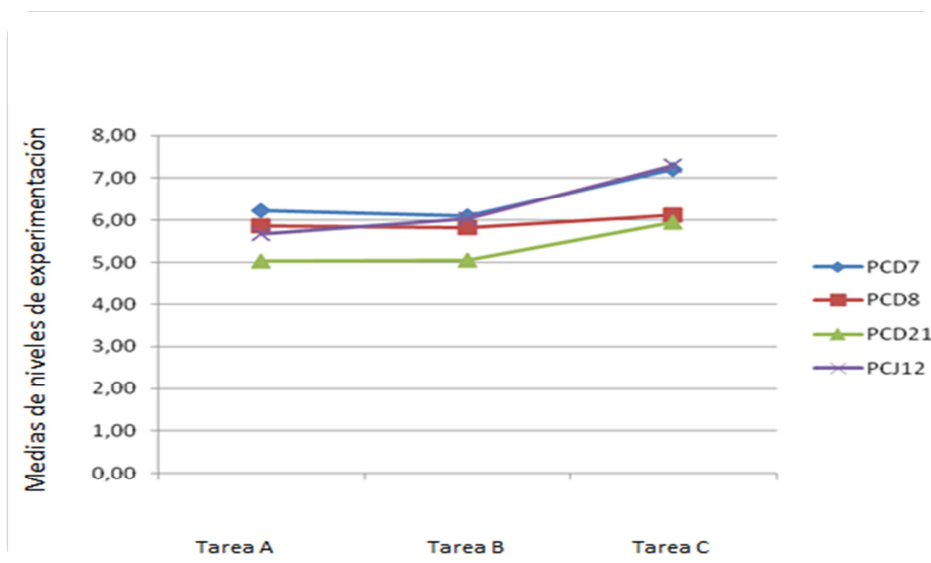


Figura 7. Agrupación 1 por niveles de desempeño. (Las siglas corresponden a los códigos de los sujetos)

En la tabla 9 se muestran los puntajes de los niveles de desempeño para la agrupación 1:

Cluster 1			
PCD7	PCD8	PCD21	PCJ12
PCD7	PCD8	PCD21	PCJ12
6,24	5,87	5,03	5,67
6,09	5,82	5,05	6,03
7,22	6,13	5,96	7,30

Tabla 9. Puntajes de los niveles de desempeño por tareas para la agrupación 1.

La primera de estas agrupaciones, que se muestra en la figura 7 y en la tabla 9, reúne a cuatro sujetos. Se caracteriza por una ligera tendencia a la disminución de los niveles de desempeño entre la tarea A (ubicada entre los puntajes 5 y 6) y la B (que se mantiene entre los mismos puntajes de la tarea A). Tal tendencia puede interpretarse, en términos generales, como estabilidad en los desempeños, de lo cual el mejor ejemplo es la línea que corresponde a PCD21, que no da muestras de cambio respecto al punto de partida (tarea A: 5,03; tarea B: 5,05).

La excepción a esa relativa estabilidad entre las tareas A y B la constituye el caso de PCJ12, que en la tarea A presenta un puntaje por debajo de la línea de 6 (5,67), y en la tarea B presenta un puntaje por encima de la misma (6,03). No obstante, la desviación en los restantes tres casos (PCD7: 6,24 a 6,09; PCD8: 5,87 a 5,82; PCD21: 5,03 a 5,05) no es tan significativa como para aislar este último caso del cluster.

En el lapso entre la tarea B y C la similitud de los desempeños se confirma como un incremento en todos los casos. Dicho incremento alcanza magnitudes máximas de un punto (tarea C: PCD21: 5,96; PCJ12: 7,30; PCD7: 7,22). El caso de PCD8, aparece como el más estable, con apenas un ligero decremento entre las tareas A y B, y un ligero incremento entre las tareas B (5,87) y C (6,13).

4.3.2 Agrupación II por niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación

La figura 8 muestra la segunda agrupación según niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación encontrada por medio de la técnica de Varclus:

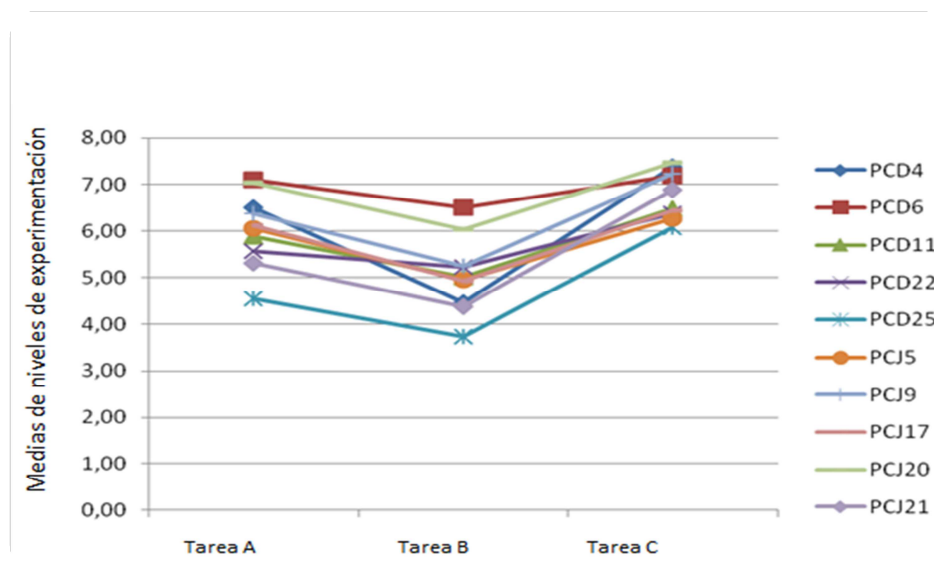


Figura 8. Niveles de desempeño para la agrupación II. (Las siglas corresponden a los códigos de los sujetos)

Los puntajes por niveles de desempeño de la agrupación II se muestran en la tabla 10:

Cluster 2									
PCD4	PCD6	PCD11	PCD22	PCD25	PCJ5	PCJ9	PCJ17	PCJ20	PCJ21
PCD4	PCD6	PCD11	PCD22	PCD25	PCJ5	PCJ9	PCJ17	PCJ20	PCJ21
6,50	7,10	5,89	5,56	4,54	6,05	6,37	6,13	7,04	5,31
4,46	6,50	5,00	5,22	3,73	4,95	5,25	4,93	6,04	4,37
7,38	7,18	6,48	6,38	6,08	6,26	7,23	6,45	7,47	6,90

Tabla 10. Puntajes de los niveles de desempeño para la agrupación II

La segunda agrupación, que se muestra en la figura 8 y en tabla 10, está integrada por 10 sujetos. Se caracteriza por el hecho de que los desempeños de los niños tienden a sufrir una caída en el paso de la tarea A a la tarea B. El caso en el que esta tendencia está menos marcada es el de PCD22, que presenta un puntaje de 5,56 en la tarea A, y uno de 5,22 en la tarea B. Por el contrario, el caso de decremento más marcado es el que corresponde a PCD4, que presenta un puntaje de 6,50 en la tarea A, y un puntaje de 4,46 en la tarea B. Los restantes casos se ubican entre estos dos extremos.

Posteriormente, en el paso de la tarea B a la C, se verifica, para todos los sujetos, un incremento en sus desempeños que, al igual que el decremento del segmento relativo a las tareas A y B, es más agudo que aquél del que da muestra el primer cluster. A este respecto, entre las tareas B y C, el incremento más grande es el de PCD4, que de 4,46 en la tarea B pasa a un puntaje de 7,38 en la tarea C. En este mismo segmento, el incremento más pequeño corresponde a PCD6, que es el sujeto con el desempeño más estable en términos generales, y que pasa de un puntaje de 6,50 en la tarea B a un puntaje de 7, 18 en la tarea C. Los restantes casos se ubican en medio de estos dos extremos.

En esta segunda agrupación se hace evidente que la tarea B tiende a aparecer como la más difícil, y que, en general, las trayectorias de desempeño se despliegan, de forma no progresiva ni lineal, hacia mejores niveles de funcionamiento.

4.3.3 Agrupación III por niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación

La figura 9 muestra la tercera agrupación según niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación encontrada por medio de la técnica de Varclus:

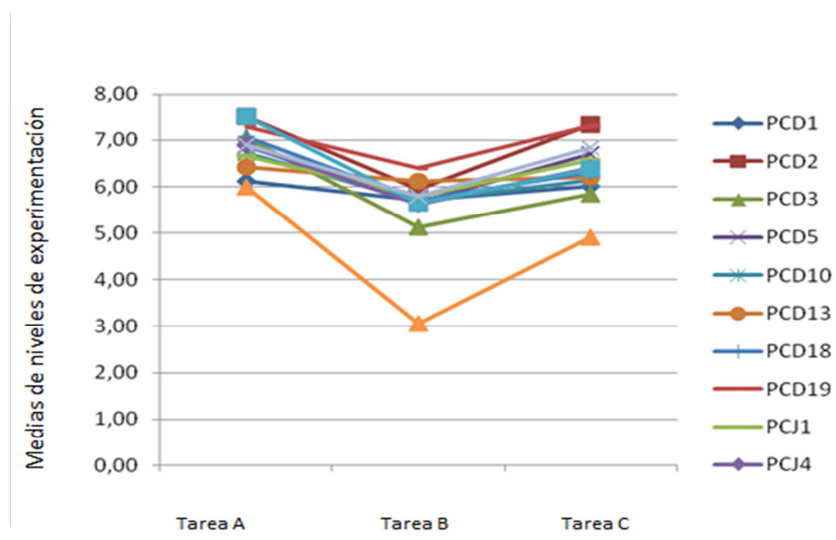


Figura 9. Niveles de desempeño para la agrupación III

A continuación, en la tabla 11, se muestran los puntajes de niveles de desempeño para la agrupación III

Cluster 3												
PCD1	PCD2	PCD3	PCD5	PCD10	PCD13	PCD18	PCD19	PCJ1	PCJ4	PCJ7	PCJ14	PCJ16
PCD1	PCD2	PCD3	PCD5	PCD10	PCD13	PCD18	PCD19	PCJ1	PCJ4	PCJ7	PCJ14	PCJ16
6,13	7,51	7,05	6,87	6,73	6,42	7,07	7,28	6,65	6,90	7,50	5,99	6,89
5,71	5,94	5,12	5,66	5,68	6,11	5,70	6,39	5,79	5,61	5,65	3,07	5,80
6,02	7,33	5,84	6,71	6,14	6,19	6,32	7,30	6,57	6,39	6,38	4,90	6,83

Tabla 11. Puntajes de niveles desempeño para la agrupación III

La tercera agrupación, que se muestra en la figura 9 y en la tabla 11, y que agrupa a los sujetos según niveles de desempeño, está integrada por 13 sujetos. Es decir, las trayectorias de desempeño que integra corresponden al patrón más frecuente.

En esta agrupación, de manera semejante a como ocurre con el cluster anterior, se aprecia un decremento en el paso de la tarea A a la B. El caso más extremo de

este decremento corresponde a PCJ14, que presenta un puntaje de 5,99 en la tarea A y uno de 3,07 en la tarea B. Por otra parte, PCD1 y PCD13 presentan los niveles de decremento más ligeros, con un puntajes de 6,13 en la tarea A, y un puntaje de 5,71 en la tarea B; y un puntaje de 6,42 en la tarea A y un puntaje 6,11 en la tarea B, respectivamente.

En lo que respecta al paso entre las tareas B y C estos dos últimos casos (PCD1 y PCD13) son los que presentan el incremento más ligero, con puntajes de 6,02 y 6,19 en la tarea C, respectivamente. A propósito de estos dos casos, se debe señalar que, en lo que respecta al patrón que describen, este es muy parecido al patrón general de las trayectorias características del primer cluster, excepto por el hecho de que al final (tarea C) dan muestra de un ligero decremento al compararse con la tarea A.

Por otra parte, el incremento más marcado en el segmento entre la tarea B y la C le corresponde a PCJ 14, que va de un puntaje de 3,07 en la tarea B, a un puntaje de 4,90 en la tarea C.

En síntesis se encuentran tres patrones. En el primero los niños tienen desempeños muy semejantes entre las tareas A y B y terminan con un desempeño para la tarea C que es superior a los dos anteriores. Se mantiene un desempeño muy parejo a lo largo de las tres tareas.

El segundo patrón es similar al anterior pero se diferencia en el hecho de que el punto C presenta un mejor desempeño que el del punto inicial para la tarea "A".

En el tercer patrón los niños muestran un decremento en su desempeño en la tarea B en comparación con la tarea A. Pese a que su desempeño asciende para la tarea C no supera lo alcanzado en el desempeño para la tarea A. La trayectoria general describe la forma de una "V".

4.4 Agrupaciones por índices de error

Las agrupaciones por promedio de índice de error muestran el aspecto complementario de las agrupaciones por niveles de desempeño. En este sentido, podría utilizarse, con consciencia de sus limitaciones, la metáfora del negativo fotográfico. Los clusters organizados según los patrones de índice de error que

describen los desempeños de los participantes serían un “negativo” de lo que aparece en el análisis de los niveles de desempeño. No obstante, dicho negativo no debe ser asumido como una equivalencia exacta de lo mostrado por los resultados anteriores, sino como su complemento, que permite avanzar en la comprensión de la complejidad del funcionamiento cognitivo relativo a la experimentación en niños en edades tempranas.

De hecho, los agrupamientos resultantes del promedio de índice de error no están compuestos de manera similar (en cuanto a los sujetos que los integran) a la que presentan los agrupamientos organizados según los niveles de desempeño, aunque dan muestras de algunos patrones que replican y confirman lo apreciado a través de estos.

4.4.1 Agrupación I por índice de error.

La figura 10 muestra la primera agrupación según índice de error encontrada por medio de la técnica de Varclus:

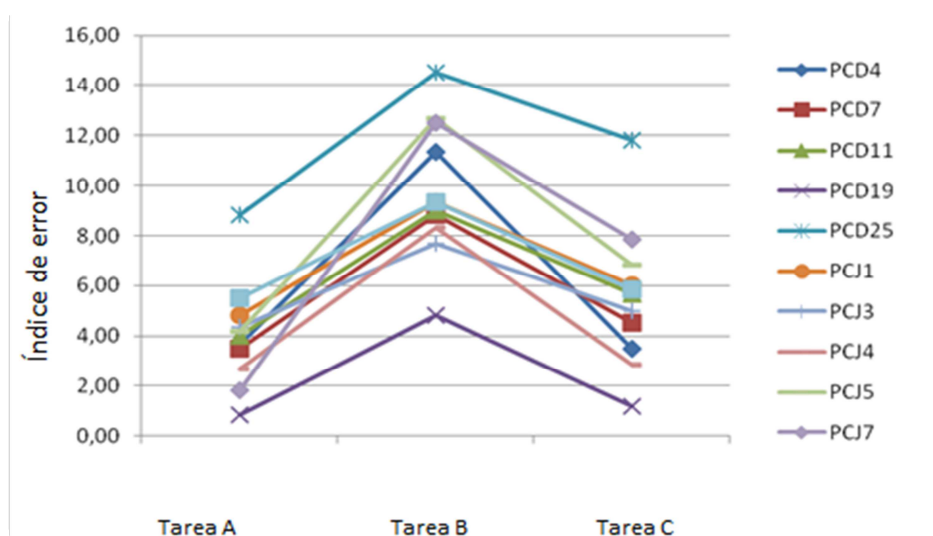


Figura 10. Agrupación 1 por índice de error.

En la tabla 12. Se muestran los puntajes de la agrupación 1 según índice de error:

Cluster 1										
PCD4	PCD7	PCD11	PCD19	PCD25	PCJ1	PCJ3	PCJ4	PCJ5	PCJ7	PCJ9
PCD4	PCD7	PCD11	PCD19	PCD25	PCJ1	PCJ3	PCJ4	PCJ5	PCJ7	PCJ9
3,67	3,50	4,00	0,83	8,83	4,83	4,33	2,67	4,17	1,83	5,50
11,33	8,83	9,00	4,83	14,50	9,33	7,67	8,33	12,67	12,50	9,33
3,50	4,50	5,67	1,17	11,83	6,00	5,00	2,83	6,83	7,83	5,83

Tabla 12. Puntajes de la agrupación 1 por índice de error.

La primera agrupación por índice de error, que se muestra en la figura 10 y la tabla 12, se caracteriza por el hecho de que la mayor parte de los sujetos presentan un promedio de índice de error bajo durante la primera tarea (tarea A), siendo el puntaje más bajo el correspondiente a PCD19 (0,83), seguido de puntajes que se ubican entre los rangos de 1,83 (PCJ7) hasta 5,50 (PCJ9).

Se presenta, además, un caso con un alto promedio de índice de error en comparación con el resto de la agrupación (PCD25: 8,83 para la tarea A), que no obstante reproduce el promedio general.

En el segmento entre la tarea A y la tarea B, se observa un incremento del promedio de índice de error, cuyo extremo más bajo corresponde a PCJ7 (tarea A: 4,33; tarea B: 7,67), mientras que el extremo más alto corresponde a PCD4 (tarea A: 3,67; tarea B: 11,33). El sujeto con los mayores promedios de índice de error, PCD25, pasa de un puntaje de 8,83 en la tarea A, a 14,50 en la tarea B.

Durante el segmento entre la tarea B y la tarea C, se observa nuevamente una disminución general del promedio de índice de error, cuyo caso más extremo es el que corresponde a PCD4 (tarea B: 11,33; tarea C: 3,50), mientras que el decremento menos pronunciado es el de PCD25 (tarea B: 14,50; tarea C: 11,83), y el de PCJ3 (tarea B: 7,67; tarea C: 5,00).

Estos datos indican una tendencia en la tarea B, la cual presenta los mayores promedios de índice de error. Replicando lo observado en el análisis de los niveles de desempeño por tareas esta tarea parece ser la situación más difícil de resolver para los niños.

Asimismo, estos datos replican el patrón de desempeño observado para la agrupación dos según niveles de desempeño, indicando que la tarea A resulta más fácil de afrontar, y que en la tarea C parece mejorar el desempeño, no obstante las dificultades experimentadas por los participantes durante la tarea B.

4.4.2 Agrupación II por promedio de índice de error

La figura 11 muestra la segunda agrupación según promedio de índice de error encontrada por medio de la técnica de Varclus:

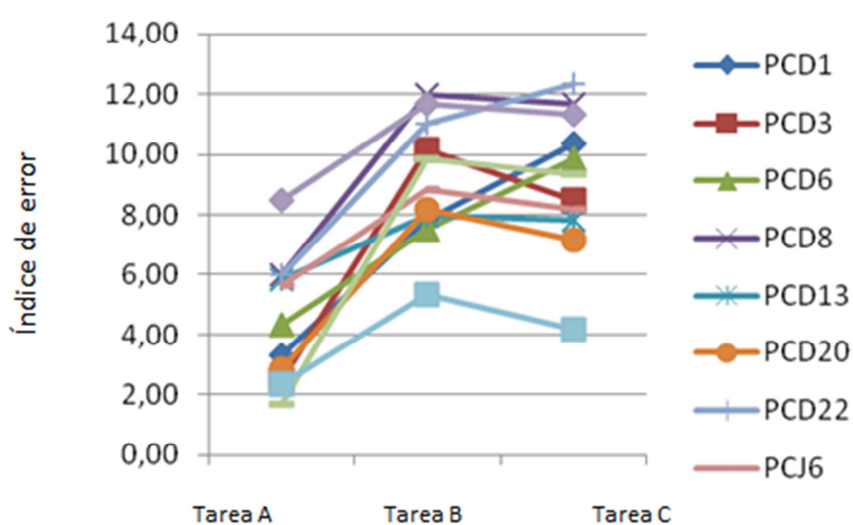


Figura 11. Agrupación II por promedio de índice de error.

En la tabla 13 se consignan los puntajes relativos a la agrupación 2 por promedio de índice de error:

Cluster 2										
PCD1	PCD3	PCD6	PCD8	PCD13	PCD20	PCD22	PCJ6	PCJ8	PCJ14	PCJ16
PCD1	PCD3	PCD6	PCD8	PCD13	PCD20	PCD22	PCJ6	PCJ8	PCJ14	PCJ16
3,33	2,50	4,33	6,00	5,83	2,83	6,00	5,67	1,67	8,50	2,33
7,83	10,17	7,50	12,00	8,00	8,17	11,00	8,83	9,83	11,67	5,33
10,33	8,50	9,83	11,67	7,83	7,17	12,33	8,17	9,33	11,33	4,17

Tabla 13. Puntajes de la agrupación II por promedio de índice de error.

Los puntajes de la agrupación II por promedios de índice de error, que se muestran en la figura 11 y la tabla 13, muestran nuevamente que la tarea A resulta ser la más fácil para la generalidad de los participantes. En esta ocasión, el caso

con el promedio de índice de error más bajo es el de PCJ8, con un puntaje de 1,67; mientras que PCJ14, con un puntaje de 8,14 representa el promedio de índice de error más alto para la tarea A.

En el paso de la tarea A a la B se observa un incremento general en el promedio de índice de error, siendo el caso de PCD13 el que presenta el menor aumento, con un puntaje de 5,83 en la tarea A, y un puntaje de 8,00 en la tarea B. El mayor incremento corresponde a PCD3, con un puntaje para la tarea A de 2,50, y un puntaje para la tarea B de 10,17.

En el segmento que se establece entre la tarea B y la C se observa nuevamente una tendencia al decremento del promedio de índice de error; el cual, no obstante, sigue siendo mayor que el de la tarea A.

El mayor decremento en este segmento (B y C) es el de PCD3, que tiene un puntaje de 10,17 en la tarea B, y un puntaje de 8,50 en la tarea C. El menor decremento, corresponde a PCD13, que tiene un puntaje de 8,00 en la tarea B, y un puntaje de 7,83 en la tarea C.

Una característica importante de esta agrupación corresponde al hecho de que no presenta un solo conjunto de trayectorias, sino que, junto con los participantes que tienen un decremento del índice de error en la tarea C cuando se la compara con la tarea B, aparecen casos que presentan un incremento entre ambas tareas. Estos últimos casos (PCD22, PCD6, PCD1) están incluidos en el cluster debido a que sus promedios de índice de error se encuentran dentro de los mismos rangos que los del resto del grupo, y describen un comportamiento similar en términos estadísticos.

El mayor incremento en el promedio de índice de error es el de PCD1, que tiene un puntaje de 7,83 en la tarea B, y un puntaje de 10,33 en la tarea C. PCD6 presenta 7,50 para la tarea B y 9,83 para la tarea C. PCD22 presenta 11,00 para la tarea A y 12,33 para la tarea B.

4.4.3 Agrupación III por promedio de índice de error

En la figura 12 se muestra la agrupación 3 por promedio de índice de error encontrado a partir de la aplicación de la técnica de varclus a los desempeños de los sujetos:

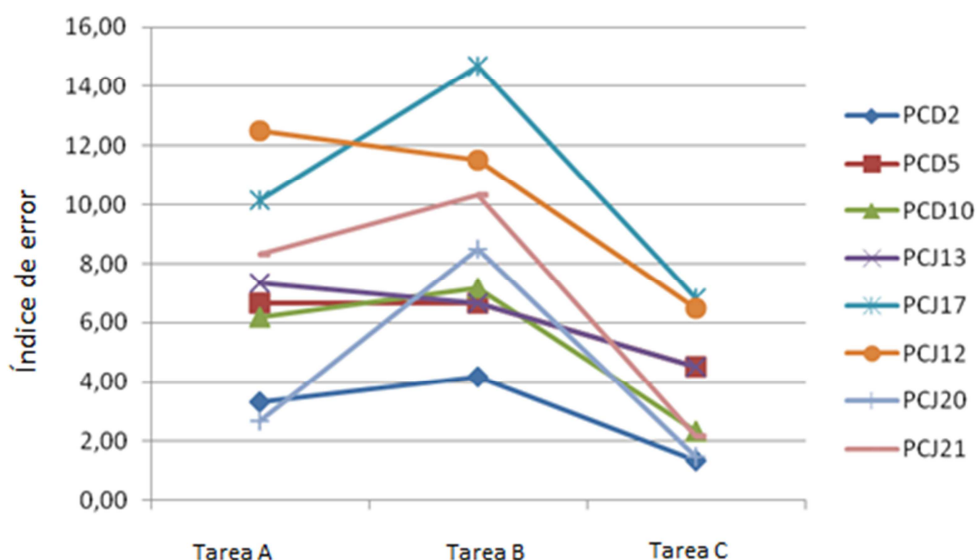


Figura 12. Agrupación III por promedio de índice de error.

La tabla 14 muestra los datos numéricos correspondientes a los puntajes de la agrupación 3 según promedio de índice de error:

Cluster 3							
PCD2	PCD5	PCD10	PCJ13	PCJ17	PCJ12	PCJ20	PCJ21
PCD2	PCD5	PCD10	PCJ13	PCJ17	PCJ12	PCJ20	PCJ21
3,33	6,67	6,17	7,33	10,17	12,50	2,67	8,33
4,17	6,67	7,17	6,67	14,67	11,50	8,50	10,33
1,33	4,50	2,33	4,50	6,83	6,50	1,50	2,17

Tabla 14. Puntajes por promedio de índice de error para la agrupación III

En la tercera agrupación por índice de error, que se expone en la figura 12 y la tabla 14, se observa una mayor dispersión en lo que respecta a los puntajes de la tarea A. En esta ocasión, el puntaje más bajo corresponde a PCJ20 (2,67), y el más alto a PCJ12 (12,50).

En el segmento entre la tarea A y la tarea B se aprecian dos tendencias, siendo la más general la que se caracteriza por un ligero incremento del índice de error

entre ambas situaciones. A este respecto, el incremento más alto es el de PCJ20 (tarea A: 2,67; tarea B: 8,50); mientras que el incremento más bajo corresponde a PCD2 (tarea A: 3,33; tarea B: 4,17). Además, aparece un caso que se mantiene estable entre ambas tareas (PCD5: tarea A: 6,67; tarea B: 6,67).

La segunda tendencia reúne a PCJ12 (tarea A: 12, 50; tarea B: 11,50) y PCJ13 (tarea A: 7,33; tarea B: 6,67), quienes presentan un ligero decremento en sus promedios de índice de error, pero se ubican dentro de los mismos rangos generales de funcionamiento que el resto del grupo.

En el segmento entre la tarea B y la tarea C se aprecia un decremento general de los promedios de índice de error en esta última, tanto en comparación con la tarea B, como con su predecesora (A). En esta ocasión, el decremento de mayor magnitud corresponde a PCJ21, que tiene un puntaje en la tarea B de 10, 33, y un puntaje en la tarea C de 2,17. Por otra parte, el decremento menor es el de PCJ13 y PCD5, ambos con un puntaje en la tarea B de 6,67, y un puntaje en la tarea C de 4,50.

El conjunto de estos datos confirma que la tarea B es la que presenta una mayor dificultad (correlativa a un mayor promedio de índice de error que las demás tareas), y que los funcionamientos de los participantes presentan un grado significativo de variabilidad inter-individual, el cual determina su agrupamiento en distintos clusters, que presentan contrastes importantes entre sí; como, por ejemplo, el hecho de que el promedio de índice de error en la agrupación III, entre las tareas B y C, marque un decremento más parecido al que se aprecia en la agrupación I, que al que se aprecia en la agrupación II.

Síntesis

La agrupación 1 se caracteriza por mostrar un incremento en el índice de error para la tarea B y un retorno en puntajes similares a los de la tarea A para la tarea C. La agrupación 2 presenta puntajes de índice de error con un incremento para la tarea B. Estos se mantienen con un índice de error semejante para la tarea C. Por último, la agrupación 3 pese a mostrar un incremento en el índice de error para la tarea B, este no es muy pronunciado, y se observa un decremento en este índice de error para la tarea C.

4.5 Agrupaciones Promedio para cada objetivo en las tres tareas.

4.5.1 Tarea A

4.5.1.1 Agrupación I

La figura 13 muestra la agrupación 1 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea A

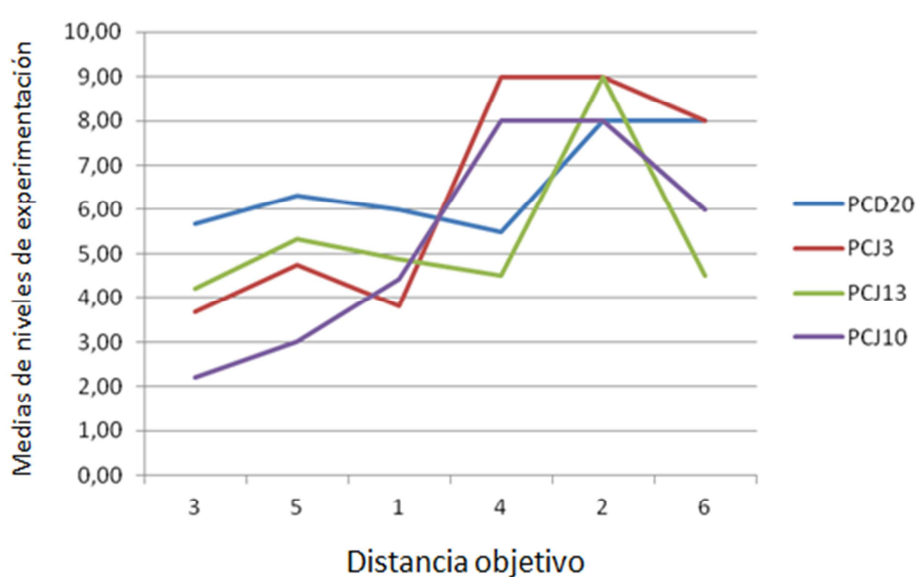


Figura 13. Agrupación 1 por promedio para cada objetivo en la tarea A.

En la tabla 15 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 1 en la tarea A:

	PCD20	PCJ3	PCJ13	PCJ10
3	5,67	3,67	4,22	2,22
5	6,33	4,75	5,33	3,00
1	6,00	3,80	4,89	4,43
4	5,50	9,00	4,50	8,00
2	8,00	9,00	9,00	8,00
6	8,00	8,00	4,50	6,00

Tabla 15. Agrupación 1: Promedios por objetivo para la tarea A

Los miembros de esta agrupación, que se muestra en la figura 13 y la tabla 15, se caracterizan por presentar **promedios medios y bajos en los tres primeros objetivos**. La mayor parte de ellos muestra una trayectoria, durante los tres primeros objetivos (3, 5 y 1) que responde a la forma de una V invertida .

Otra característica importante de esta agrupación es que los participantes presentan un **fuerte ascenso en los puntajes correspondientes a la segunda mitad de la tarea** (objetivos 2 y 4, cada uno con tres sujetos, respectivamente). Por último, al final de la tarea, en **el objetivo 6, se observa una caída general**.

4.5.1.2 Agrupación II

La figura 14 muestra la agrupación 2 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea A:

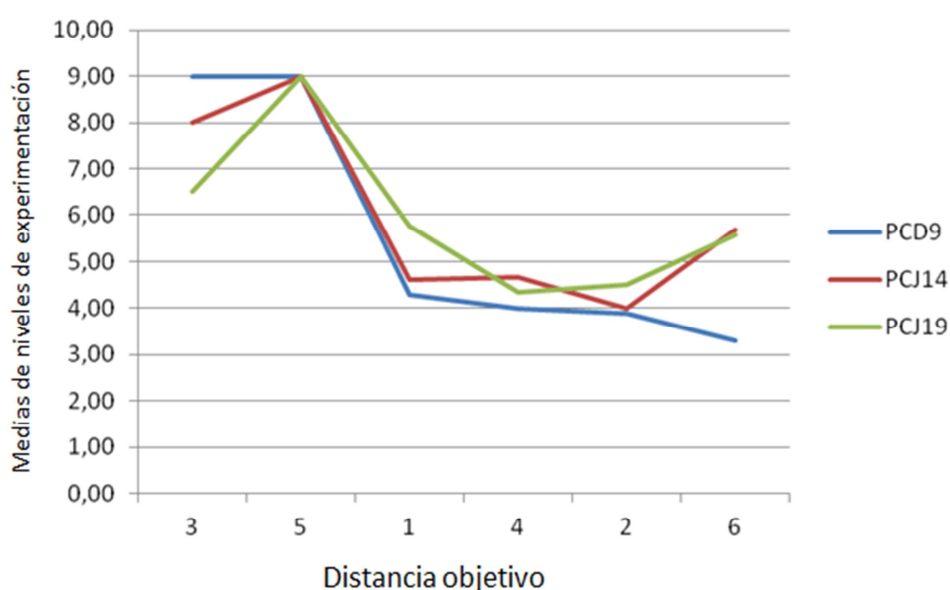


Figura 14. Agrupación II por promedio para cada objetivo en la tarea A

En la tabla 16 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 2 en la tarea A:

	PCD9	PCJ14	PCJ19
3	9,00	8,00	6,50
5	9,00	9,00	9,00
1	4,29	4,60	5,75
4	4,00	4,67	4,33
2	3,89	4,00	4,50
6	3,30	5,67	5,57

Tabla 16. Agrupación 1 por promedio para cada objetivo en la tarea A

Este agrupamiento, que se muestra en la figura 14 y la tabla 15, está caracterizado por **empezar la trayectoria en rangos relativamente altos (objetivos 3 y 5)**, y posteriormente presentar una caída fuerte en el objetivo 1, después de la cual los participantes permanecen oscilando en el mismo nivel durante los objetivos 4 y 2. En el objetivo 6 se observa un ligero ascenso para dos de los casos, el cual no alcanza a replicar los niveles iniciales.

4.5.1.3 Agrupación III

La figura 15 muestra la agrupación 3 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea A:

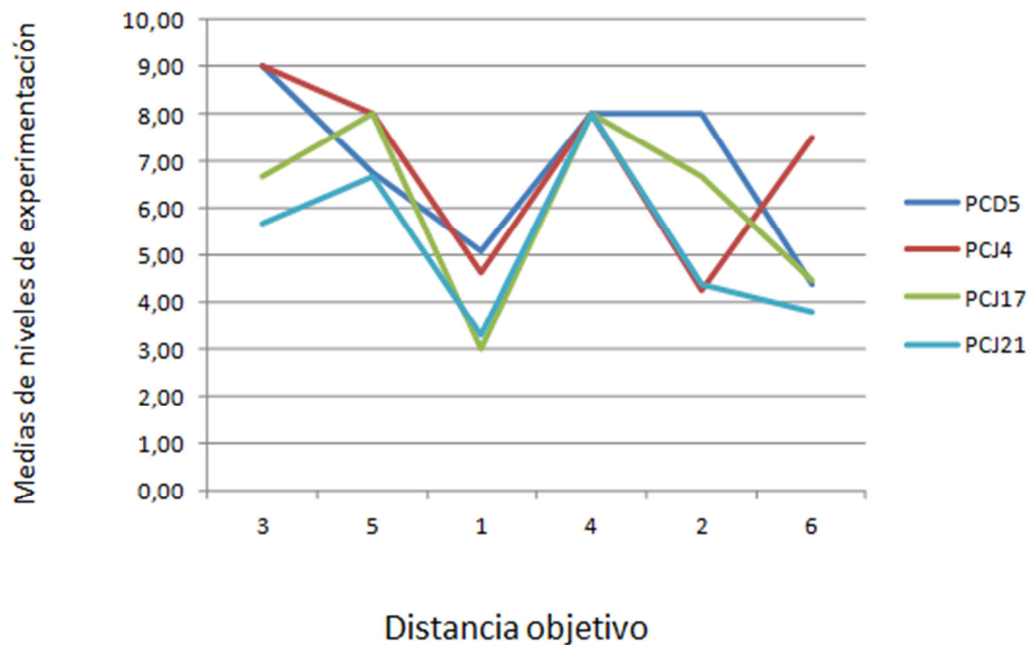


Figura 15. Agrupación III por promedio para cada objetivo en la tarea A.

En la tabla 17 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 3 en la tarea A

	PCD5	PCJ4	PCJ17	PCJ21
3	9,00	9,00	6,67	5,67
5	6,75	8,00	8,00	6,67
1	5,10	4,63	3,00	3,30
4	8,00	8,00	8,00	8,00
2	8,00	4,25	6,67	4,40
6	4,38	7,50	4,44	3,80

Tabla 17. Agrupación III por promedio para cada objetivo en la tarea A

Esta agrupación, que se muestra en la figura 15 y en la tabla 17, se caracteriza, al igual que la anterior, por el hecho de que **empieza en rangos altos y medios, con una combinación de ascensos y descensos entre 3 y 2**, que tienen como característica fundamental un fuerte descenso para el objetivo 1. A continuación, se presenta un fuerte ascenso en el objetivo 4.

En el caso del objetivo 2, la mayoría de los niños presentan un descenso en el puntaje promedio, finalizando con resultados mixtos para el objetivo 6, los cuales oscilan entre fuertes ascensos y fuertes caídas.

4.5.1.4 Agrupación IV

La figura 16 muestra la agrupación 4 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea A:

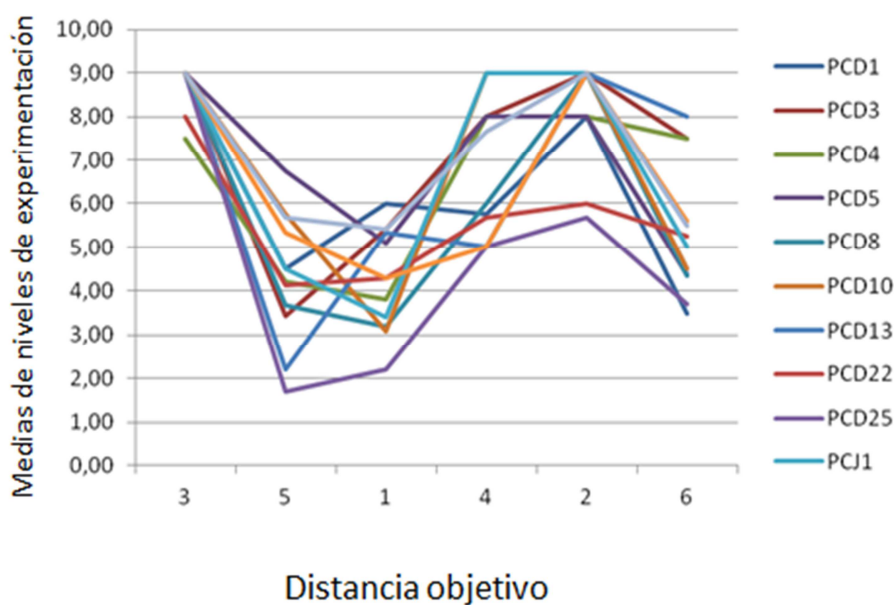


Figura 16. Agrupación IV por promedio para cada objetivo en la tarea A

En la tabla 18 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 4 en la tarea A

	PCD1	PCD3	PCD4	PCD5	PCD8	PCD10	PCD13	PCD22	PCD23	PCD25	PCJ1	PCJ9	PCJ20
3	9,00	9,00	7,50	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	4,57	9,00	9,00	9,00	9,00
5	4,50	3,43	4,20	6,75	3,67	5,75	2,20	4,14	2,10	1,70	4,50	5,33	5,67
1	6,00	5,40	3,80	5,10	3,20	3,10	5,33	4,30	2,90	2,20	3,40	4,30	5,40
4	5,75	8,00	8,00	8,00	6,00	9,00	5,00	5,67	1,30	5,00	9,00	5,00	7,67
2	8,00	9,00	8,00	8,00	9,00	9,00	9,00	6,00	4,67	5,67	9,00	9,00	9,00
6	3,50	7,50	7,50	4,38	4,33	4,50	8,00	5,25	1,70	3,70	5,00	5,60	5,50

Tabla 18. Agrupación IV por promedio para cada objetivo en la tarea A

Esta agrupación, que se muestra en la figura 16 y la tabla 18, **inicia con puntajes altos para el objetivo 3**, que son seguidos de un **descenso importante en lo que concierne a los objetivos 5 y 1**. Posteriormente, se puede identificar un ascenso importante en los objetivos 4 y 2, el cual es más evidente en el caso de este último.

Todos los niños finalizan con **una caída para el objetivo 6**. Dicha caída varía, en el promedio, en términos de intensidad, oscilando entre distintas magnitudes de decremento relacionadas con los promedios.

4.5.1.5 Agrupación V

La figura 17 muestra la agrupación 5 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea A:

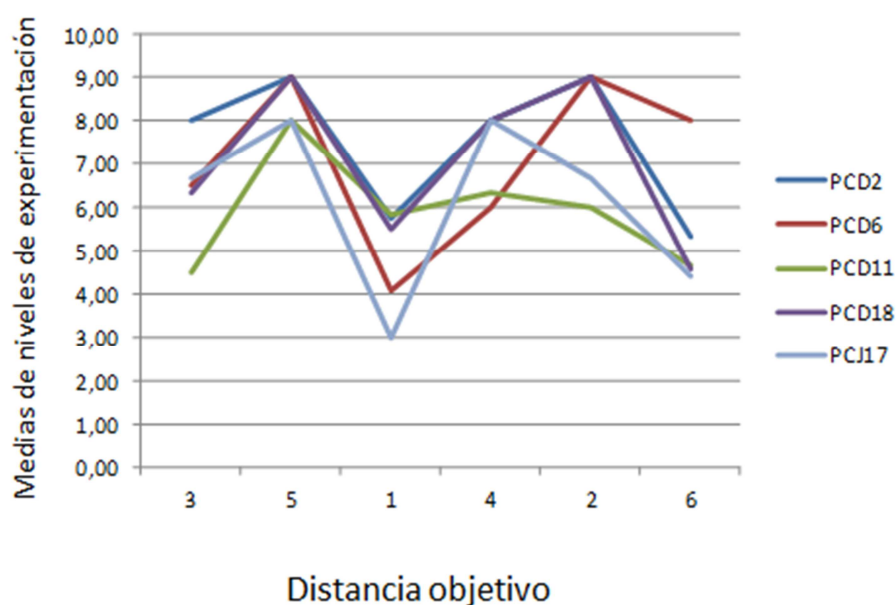


Figura 17. Agrupación V por promedio para cada objetivo en la tarea A

En la tabla 19 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 5 en la tarea A

	PCD2	PCD6	PCD11	PCD18	PCJ8	PCJ17
3	8,00	6,50	4,50	6,33	5,00	6,67
5	9,00	9,00	8,00	9,00	8,00	8,00
1	5,75	4,10	5,83	5,50	8,00	3,00
4	8,00	6,00	6,33	8,00	7,50	8,00
2	9,00	9,00	6,00	9,00	9,00	6,67
6	5,33	8,00	4,67	4,60	4,67	4,44

Tabla 19. Agrupación V por promedio para cada objetivo entre tareas

Las trayectorias de esta agrupación, que se muestran en la figura 17 y la tabla 19, se caracterizan por iniciar con un movimiento ascendente entre los objetivos 3 y 5, que son seguidos por un fuerte descenso en el objetivo 1. Posteriormente, las trayectorias tienden nuevamente a ascender, tanto para el objetivo 4 como para el 2. Por último, en el objetivo 6 la totalidad de los sujetos presenta un descenso. Se puede afirmar que esta agrupación es bastante semejante a la agrupación 3, antes descrita, con la diferencia de que en este caso el desempeño entre los objetivos 3-5, y 4-2 es más regular.

4.5.2 Tarea B

4.5.2.1 Agrupación I

La figura 18 muestra la agrupación 1 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea B:

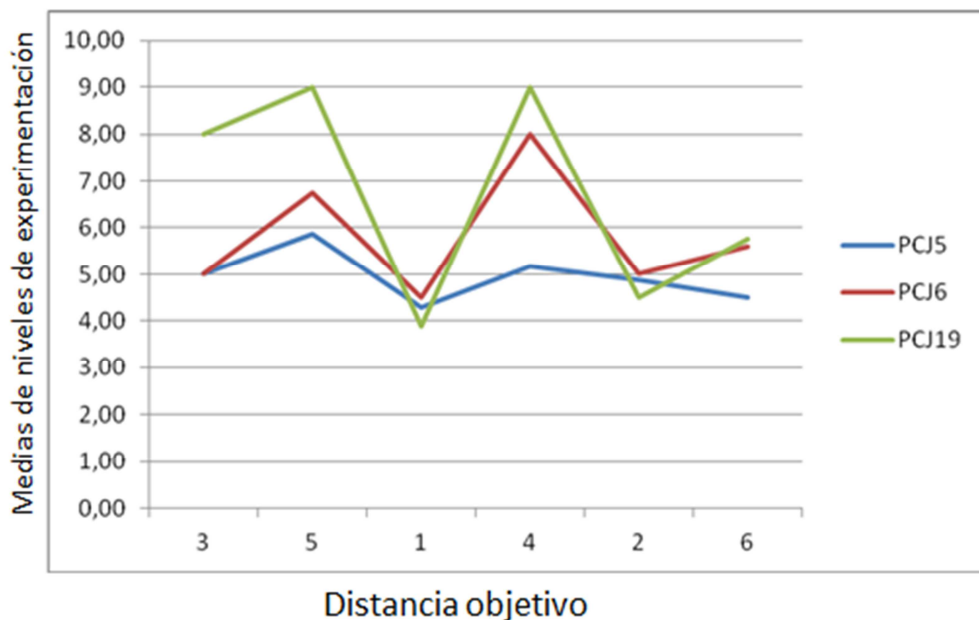


Figura 18. Agrupación I por promedio para cada objetivo de la tarea B

En la tabla 20 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 1 en la tarea B

	PCJ5	PCJ6	PCJ19
3	5,00	5,00	8,00
5	5,86	6,75	9,00
1	4,29	4,50	3,90
4	5,17	8,00	9,00
2	4,89	5,00	4,50
6	4,50	5,60	5,75

Tabla 20. Agrupación I por promedio para cada objetivo de la tarea B

Esta agrupación, que se expone en la figura 18 y la tabla 20, está caracterizada por la presencia de dos fuertes caídas en los objetivos 1 y 2. Complementariamente, se presentan ascensos en los puntajes 5 y 4. En el puntaje 6 se observan una estabilización tras la caída en 2.

4.5.2.2 Agrupación II

La figura 19 muestra la agrupación 2 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea B:

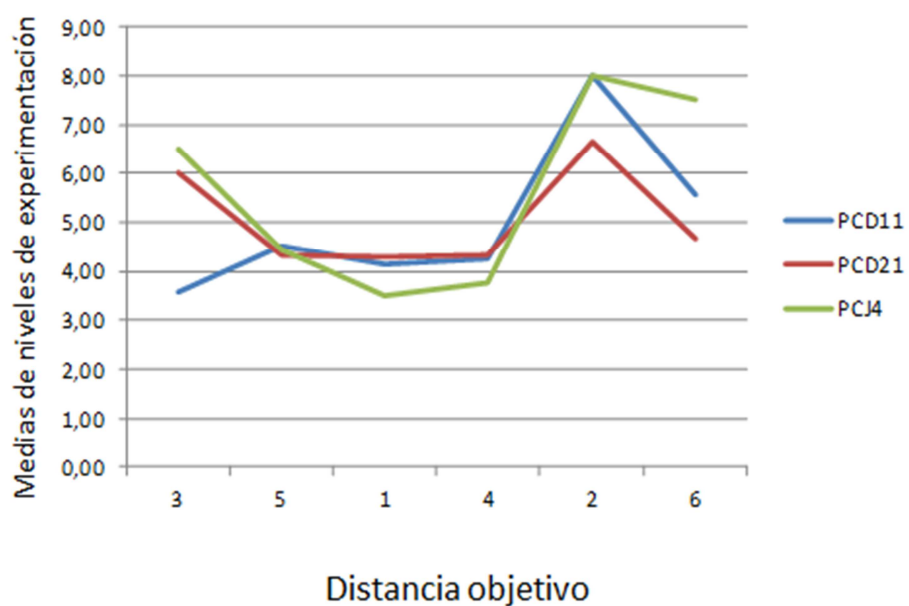


Figura 19. Agrupación II por promedio para cada objetivo de la tarea B

En la tabla 21 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 2 en la tarea B:

	PCD11	PCD21	PCJ4
3	3,57	6,00	6,50
5	4,50	4,33	4,43
1	4,14	4,30	3,50
4	4,25	4,33	3,75
2	8,00	6,67	8,00
6	5,56	4,67	7,50

Tabla 21. Agrupación II por promedio para cada objetivo de la tarea B

En esta agrupación, que se muestra en la figura 19 y la tabla 21, se observa una trayectoria caracterizada por una estabilización del desempeño entre los objetivos 5, 1 y 4. Dicha estabilización está precedida en dos de los casos (PCD21 y PCJ4) por promedios en rangos medio-altos.

Posteriormente, se presenta un ascenso fuerte de todos los participantes en el objetivo 2, seguido de un descenso general en el objetivo 6, el cual, sin embargo no llega a oscilar en rangos tan bajos como los del inicio de la sesión.

4.5.2.3 Agrupación III

La figura 20 muestra la agrupación 3 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea B:

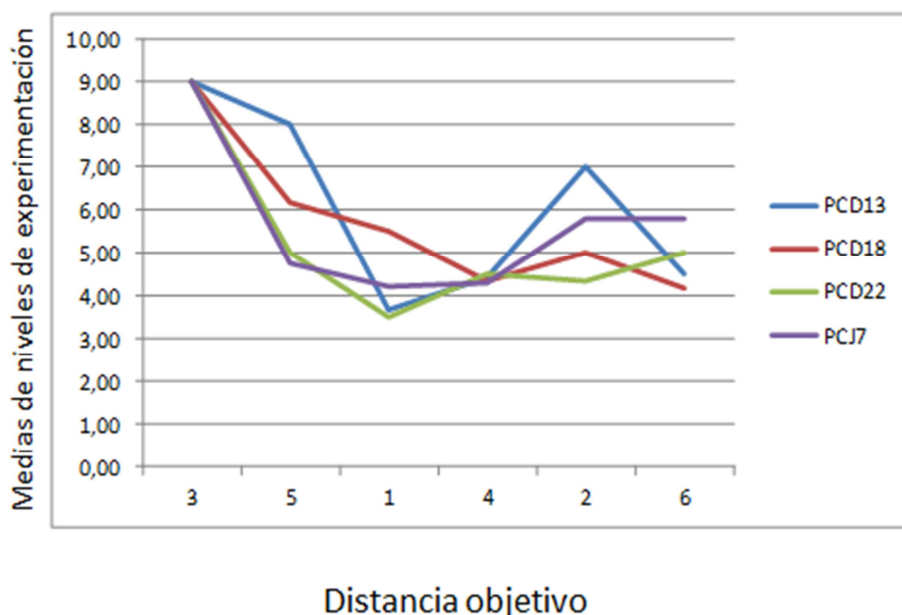


Figura 20. Agrupación III por promedio para cada objetivo de la tarea B

En la tabla 22 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 3 en la tarea B.

	PCD13	PCD18	PCD22	PCJ7
3	9,00	9,00	9,00	9,00
5	8,00	6,17	5,00	4,75
1	3,70	5,50	3,50	4,22
4	4,44	4,33	4,50	4,30
2	7,00	5,00	4,33	5,80
6	4,50	4,20	5,00	5,80

Tabla 22. Agrupación III por promedio para cada objetivo de la tarea B

Esta agrupación, que está presentada en la figura 20 y la tabla 22, inicia con un descenso de la trayectoria, la cual, después de presentar promedios altos en el objetivo 3, empieza a oscilar entre promedios medios durante los objetivos 5, 1, 4. Posteriormente, se mantiene dicha oscilación, con un ligero incremento en el objetivo 2.

4.5.2.4 Agrupación IV

La figura 21 muestra la agrupación 4 según los promedios para cada objetivo en la tarea B:

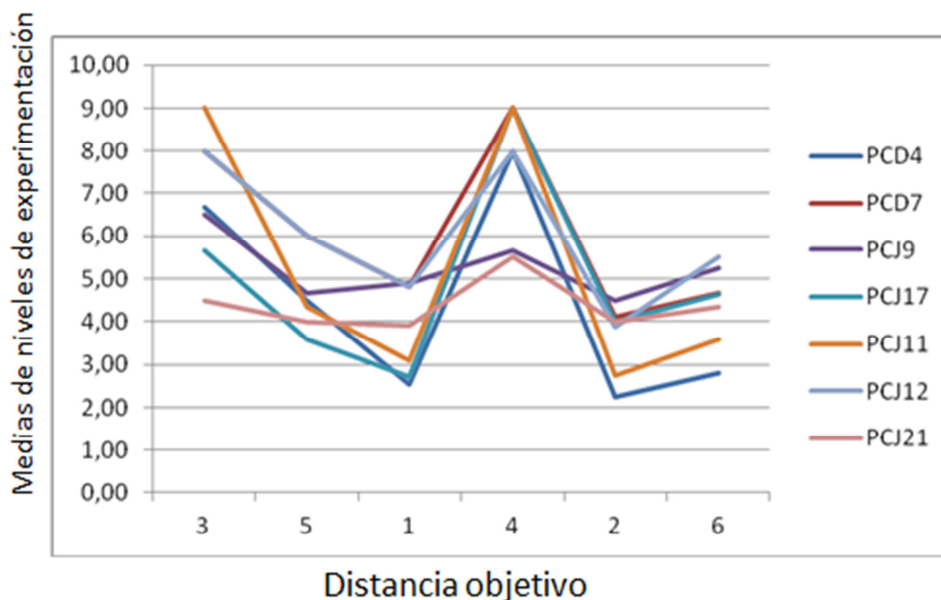


Figura 21. Agrupación IV por promedio para cada objetivo de la tarea B

En la tabla 23 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 4 en la tarea B

	PCD4	PCD7	PCD19	PCJ9	PCJ17	PCJ11	PCJ12	PCJ21
3	6,67	8,00	6,50	6,50	5,67	9,00	8,00	4,50
5	4,50	6,00	4,67	4,67	3,60	4,33	6,00	4,00
1	2,55	4,80	7,67	4,90	2,70	3,09	4,80	3,90
4	8,00	9,00	8,00	5,67	9,00	9,00	8,00	5,50
2	2,25	4,10	5,50	4,50	4,00	2,75	3,89	4,00
6	2,80	4,67	6,00	5,25	4,63	3,60	5,50	4,33

Tabla 23. Agrupación IV por promedio para cada objetivo de la tarea B

En esta agrupación, que se presenta en la figura 21 y la tabla 23, se aprecia una caída desde el inicio en el objetivo 3 (en un rango de promedios medios y altos), para los objetivos 5 y 1. A continuación, se presenta un ascenso importante en el objetivo 4, que es seguido a su vez, por una caída de similar magnitud en el objetivo 2. Al final, se observa un ligero ascenso en el objetivo 6, durante el cual los participantes oscilan en el rango entre puntajes medios y bajos.

4.5.2.5 Agrupación V

La figura 22 muestra la agrupación 5 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea B:

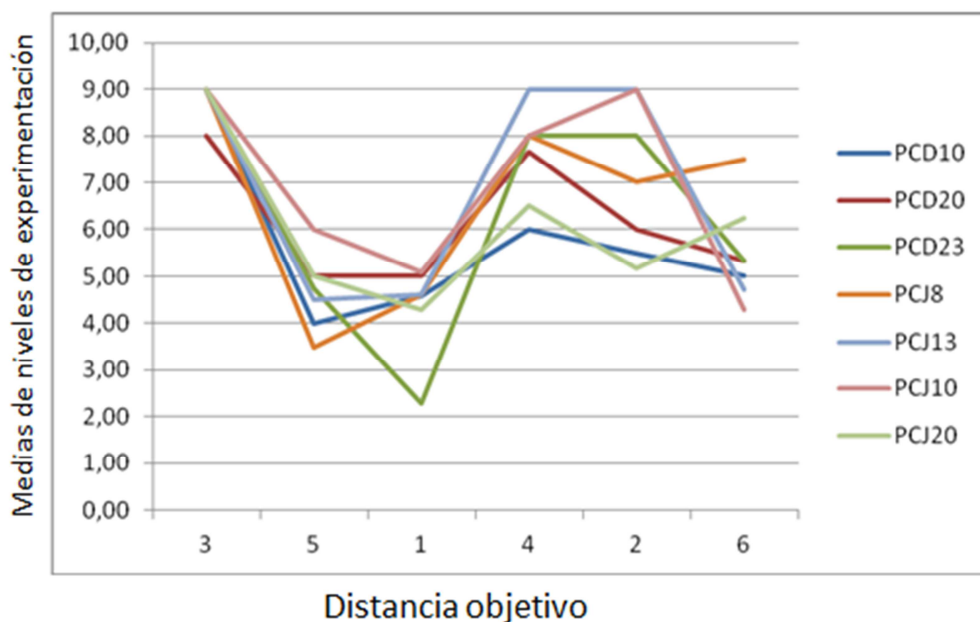


Figura 22. Agrupación V por promedio para cada objetivo de la tarea B

En la tabla 24 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 5 en la tarea B

	PCD10	PCD20	PCD23	PCD25	PCJ3	PCJ8	PCJ13	PCJ10	PCJ20
3	9,00	8,00	9,00	6,50	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
5	4,00	5,00	4,75	2,50	4,70	3,50	4,50	6,00	5,00
1	4,57	5,00	2,30	1,70	8,00	4,60	4,60	5,10	4,30
4	6,00	7,67	8,00	5,00	8,00	8,00	9,00	8,00	6,50
2	5,50	6,00	8,00	3,10	8,00	7,00	9,00	9,00	5,17
6	5,00	5,33	5,33	3,60	5,38	7,50	4,71	4,30	6,25

Tabla 24. Agrupación V por promedio para cada objetivo de la tarea B

Esta agrupación, que se muestra en la figura 22 y la tabla 24, inicia en rangos de promedios altos en el objetivo 3. Posteriormente se presenta una caída en los objetivos 5 y 1, seguida de un ascenso en el objetivo 4. Por último, durante los objetivos 2 y 6 los participantes oscilan entre promedios ubicados en rangos medio-altos, finalizando la mitad de los casos con una caída, y la otra mitad con un puntaje estable.

4.5.3 Tarea C

4.5.3.1 Agrupación I

La figura 23 muestra la agrupación 1 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea C:

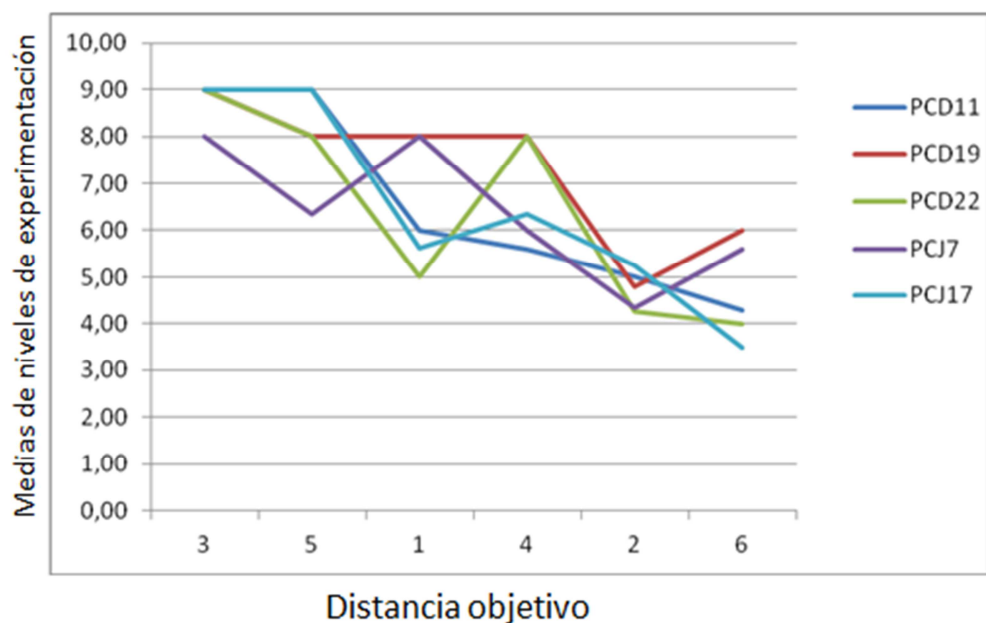


Figura 23. Agrupación I por promedio para cada objetivo de la tarea C

En la tabla 25 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 1 en la tarea C

	PCD11	PCD19	PCD22	PCJ7	PCJ17
3	9,00	9,00	9,00	8,00	9,00
5	9,00	8,00	8,00	6,33	9,00
1	6,00	8,00	5,00	8,00	5,63
4	5,60	8,00	8,00	6,00	6,33
2	5,00	4,80	4,25	4,33	5,25
6	4,30	6,00	4,00	5,60	3,50

Tabla 25. Agrupación I por promedio para cada objetivo de la tarea C

En esta agrupación, que se presenta en la figura 23 y la tabla 25, se observa una ligera tendencia general al descenso en el puntaje 5, después de un inicio en rangos de promedios altos. A continuación, los participantes tienden a descender aún más, entre los objetivos 5, 1, y 4. En este segmento, algunos de los participantes (PCD20 y PCJ7) muestran ascensos hasta el promedio 8,00, seguidos de descensos equivalentes.

En el puntaje 2 se presenta una caída general hacia promedios medio-bajos, y en el puntaje 6 se mantiene la tendencia de oscilación decreciente de toda la sesión.

4.5.3.2 Agrupación II

La figura 24 muestra la agrupación 2 según los promedios para cada distancia objetivo en la tarea C:

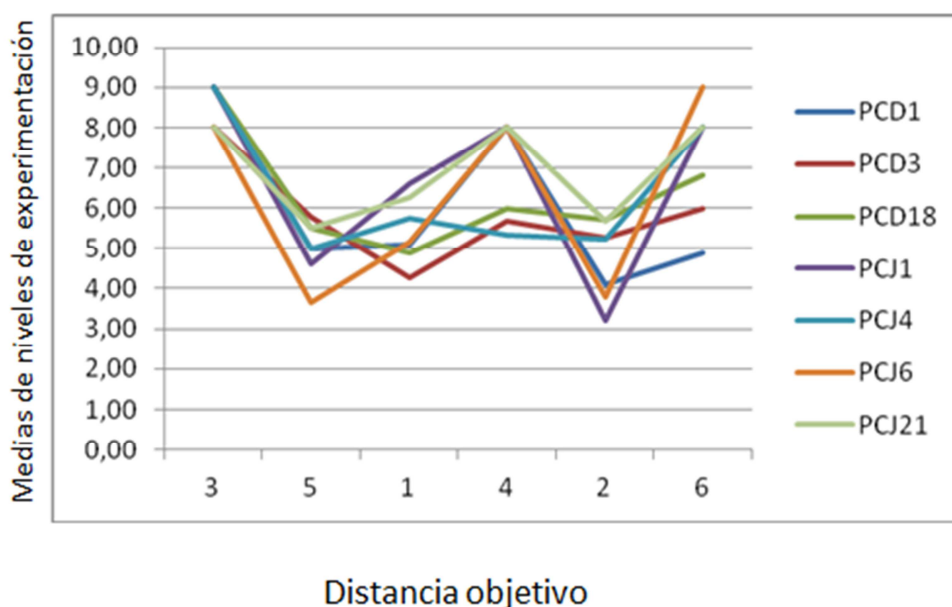


Figura 24. Agrupación II por promedio para cada objetivo de la tarea C

En la tabla 26 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 2 en la tarea C.

	PCD1	PCD3	PCD18	PCJ1	PCJ4	PCJ6	PCJ13	PCJ21
3	9,00	8,00	9,00	9,00	9,00	8,00	9,00	8,00
5	5,00	5,80	5,50	4,63	5,00	3,67	3,11	5,50
1	5,10	4,29	4,90	6,60	5,75	5,17	9,00	6,25
4	8,00	5,67	6,00	8,00	5,33	8,00	5,00	8,00
2	4,10	5,29	5,71	3,20	5,25	3,80	4,50	5,67
6	4,90	6,00	6,80	8,00	8,00	9,00	7,50	8,00

Tabla 26. Agrupación II por promedio para cada objetivo de la tarea C

En esta agrupación, que se expone en la figura 24 y la tabla 26, se observa un inicio en promedios altos para el objetivo 3, seguido por un marcado descenso en el objetivo 5 hacia promedios medio-bajos. Posteriormente, las trayectorias tienden a presentar una ligera tendencia al incremento de los promedios durante los objetivos 1 y 4, tras de lo cual se aprecia una caída general en el objetivo 2. Por último, durante el objetivo 6, todos los sujetos presentan un ascenso, oscilando entre promedios medios y altos.

4.5.3.3 Agrupación III

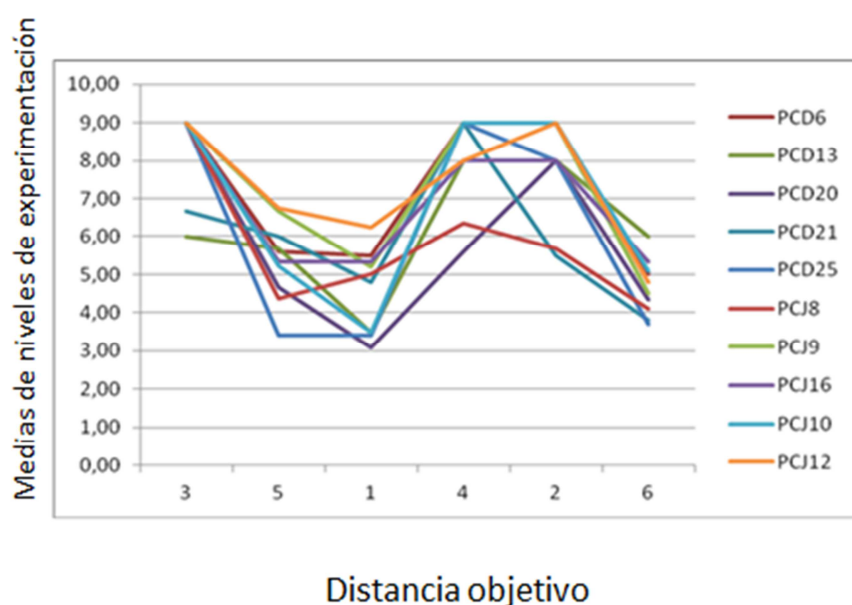


Figura 25. Agrupación III por promedio para cada objetivo de la tarea C

En la tabla 27 se consignan los puntajes de promedios por objetivo para la agrupación 3 en la tarea C

	PCD4	PCD6	PCD13	PCD20	PCD21	PCD23	PCD25	PCJ8	PCJ9	PCJ16	PCJ10	PCJ12
3	9,00	9,00	6,00	9,00	6,67	6,67	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
5	8,00	5,60	5,67	4,67	6,00	3,50	3,40	4,38	6,67	5,33	5,22	6,75
1	8,00	5,50	3,50	3,10	4,80	8,00	3,40	5,00	5,20	5,33	3,50	6,25
4	8,00	9,00	8,00	5,60	9,00	4,75	9,00	6,33	9,00	8,00	9,00	8,00
2	8,00	9,00	8,00	8,00	5,50	6,00	8,00	5,67	9,00	8,00	9,00	9,00
6	3,30	5,00	6,00	4,33	3,80	8,00	3,70	4,10	4,50	5,33	5,10	4,80

Tabla 27. Agrupación III por promedio para cada objetivo de la tarea C

En esta agrupación, que se presenta en la figura 25 y la tabla 27, se observa un inicio en el rango entre promedios altos y medios de desempeño, durante el objetivo 3. A continuación, se observa una caída importante en el objetivo 5 hacia promedios entre medios-altos y medios-bajos de desempeño, que continúa haciéndose más aguda hacia el objetivo 1. Posteriormente, se presenta un ascenso general, en el que la mayor parte de los participantes oscilan, durante los objetivos 4 y 2, en el rango de sus niveles iniciales. Por último, se evidencia una caída general en el objetivo 6, con todos los sujetos ubicados en el rango medio de promedios.

En síntesis se puede plantear que para las tres tareas se observan múltiples tipos de agrupación que pese a concentrar varios niños en patrones semejantes tienden a ser bastante disímiles cuando se comparan entre sí. No obstante se puede observar dos regularidades que permanecen más o menos constantes son: 1) Tienden a observarse unos puntajes promedio bajos para el objetivo uno en casi todos los casos, y se observa una tendencia semejante para el puntaje 6, pero este no aparece con tanta frecuencia como ocurre con el caso del uno. 2) Los puntajes 3 y 4 tienden a tener los promedios más altos, mientras que para todas las tareas, los puntajes 5 y 2 varían de manera importante.

Discusión

El análisis del desempeño de los sujetos en las tres tareas, realizado a partir de técnicas estadísticas tradicionales aplicables de sistemas ergódicos, permite observar, de un modo general, la existencia de diferencias entre los desempeños lo largo de las tres versiones de las tareas presentadas a los niños. Adicionalmente, la comparación, por medio de las mismas técnicas, de los índices de error de las tres tareas con la misma estructura multivariada, confirma que a pesar de dicha similitud estructural, la tarea B aparece como diferente (más difícil que las otras dos: A y C).

Estos datos, que dan cuenta de la presencia de variabilidad en los desempeños son importantes para la caracterización del funcionamiento de la experimentación.

No obstante, se confirmó que los análisis lineales de carácter tradicional, no arrojan luces sobre las diferencias inter-individuales, la variabilidad intra-individual, o los cambios del funcionamiento a lo largo del tiempo, que son de vital importancia para el establecimiento de la caracterización de la experimentación que aquí se propone.

Es también importante para el estudio del funcionamiento de la experimentación precisar la naturaleza de la diferencia entre tareas e identificar en detalle con mayor detalle el carácter de las diferencias inter-individuales. Una hipótesis de partida es que estas diferencias podrían deberse a que los niños comprenden los problemas de manera distinta.

La comprensión diferenciada de las tareas puede tener que ver con la naturaleza de los fenómenos explorados. Pese a que las tareas plantean una estructura análoga en términos de la demanda cognitiva de ajustar un sistema de 3 variables con una combinatoria $3 \times 3 \times 2$ para alcanzar, uno de 6 blancos; se evidencia que las tareas plantean diferentes niveles de complejidad para algunos niños. Esto lleva a plantear la hipótesis de la influencia de aspectos de dominio específico en el micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación.

No obstante, la naturaleza del diseño de esta investigación no permite explorar a profundidad esta hipótesis. Sería posible un diseño diferente que permita contrabalancear la presentación de las tareas y con una muestra amplia, que permita establecer comparaciones válidas entre tareas.

Otra hipótesis que sería viable de explorar en futuras investigaciones, tiene que ver con la transferencia de conocimiento. Las diferencias entre las diferentes tareas abren la posibilidad de exploración de la transferencia de conocimiento, de manera semejante a lo planteado por Chen y Klahr (2008) acerca de la capacidad de los niños para transferir la estrategia de control de variables entre tareas.

Sin embargo, esta posibilidad de investigación sobrepasa los alcances del presente estudio, el cual implicaría, no solo un diseño de investigación diferente, sino también acercarse a algunos problemas teóricos, sobre la naturaleza de la transferencia misma, como los planteados por Wagner (2006). Este estudio se

limita a la caracterización del funcionamiento de la experimentación y a la identificación de la presencia de patrones generales de variabilidad inter-individuales.

Por este motivo se recurrió a la técnica de agrupamiento de Varclus. Si bien, estrictamente hablando, esta técnica no pertenece a los sistemas dinámicos no lineales, el agrupamiento de Varclus puede considerarse como una técnica intermedia que permite conectar las metodologías tradicionales y con los SDNL.

Esta técnica permitió identificar la forma en que se agrupaban los participantes según los promedios correspondientes a desempeños en el funcionamiento de la experimentación, de acuerdo con las trayectorias que dichos niveles describen. Por medio de este tipo de análisis aplicado a los datos correspondientes a los promedios de desempeños en el funcionamiento de la experimentación y al índice de error para las tres tareas, se pudo observar que a lo largo de las sesiones la muestra de comporta de modo no-ergodico (Molenaar, 2004).

Esto se observa a través de las diversas agrupaciones expuestas en los resultados, en las que tanto en el nivel intra como interindividual no se presentó un desempeño homogéneo con un incremento lineal, sino que se observó variabilidad en las trayectorias para desempeños en el funcionamiento de la experimentación y en los promedios de índice de error. No obstante, es importante señalar que la revisión de los itinerarios da cuenta, tanto para cada tarea como para el conjunto de las sesiones, de una importante tendencia que consiste en una reducción no lineal de los niveles más bajos de experimentación. Dicha tendencia puede ser apreciada en la revisión de las agrupaciones resultantes. Al observar las agrupaciones por promedio de niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación y de índice de error, en cada caso dos de las tres agrupaciones terminan con un nivel de desempeño más alto, o con un nivel de índice de error más bajo que al iniciar la resolución de la secuencia de tareas. Esto implica que, pese a la aparición constante a lo largo de todo el proceso, de niveles bajos de desempeño del funcionamiento de la experimentación, la comprensión de los niños acerca del funcionamiento del sistema tiende a hacerse más compleja

conforme avanza la experimentación. Sin embargo, aún es necesario dar cuenta de los aspectos fundamentales del proceso por medio del cual se da este avance, lo que en este caso se hace describiendo las características de las trayectorias en el tiempo. Esto sirvió para identificar patrones de agrupamiento que dieron cuenta de la no ergodicidad del funcionamiento de la experimentación a lo largo de la muestra. Es decir, mostró que los desempeños y los promedios de índice de error no siguen un patrón general, sino múltiples patrones.

Cada una de estas agrupaciones arrojó un patrón de desempeño. Las agrupaciones 2 y 3 son las más características y presentan la mayor cantidad de sujetos (2: 10 niños; 3: 13 niños). Ambas agrupaciones confirman la mayor dificultad de la tarea B, indicada por una caída en los promedios de los desempeños en el funcionamiento de la experimentación. Pero los patrones de ambas difieren en el hecho de que en la agrupación 3 se presenta un aumento en los promedios de los desempeños en el funcionamiento de la experimentación (en lo que concierne a la tarea A y a la B) para el caso de la tarea C, mientras que en la agrupación 2 este aumento no alcanza niveles tan altos como los de la tarea A. De este modo se confirma que las tareas son comprendidas como diferentes e independientes, pero sobretodo que la tarea B resulta más compleja. Por otra parte, en la primera agrupación (1) se puede hipotetizar que existe una conexión entre los tres problemas y que el niño logra coordinar la información entre ellos a lo largo de la experimentación.

En síntesis, estas agrupaciones permiten describir diferentes patrones del funcionamiento de la experimentación, y de comprensión de las diferentes versiones de las situaciones de resolución de problema. Estos patrones van desde la comprensión de las tres tareas como un solo problema (agrupación I); pasando por la comprensión inicial de las tres tareas como problemas distintos que al final se integran (agrupación II); hasta un último patrón que se caracteriza por el hecho de que las tres tareas tienden a ser concebidas principalmente como problemas totalmente distintos (agrupación III).

Al agrupar a los participantes según el índice de error para las tres tareas por medio de la técnica de Varclus se puede observar que los patrones obtenidos son semejantes a los que produjo el examen de los desempeños en el funcionamiento de la experimentación. Sin embargo, es importante señalar que las agrupaciones resultantes no están integradas por los mismos sujetos que componen las agrupaciones por promedio de desempeño en el funcionamiento de la experimentación. El tipo de cambio que ocurre entre las tareas en relación con los errores no parece estar en relación con el tipo de cambio que tiene lugar respecto al nivel de desempeño-experimentación. Un mismo niño puede tener trayectorias diferentes en las dos escalas, perteneciendo a agrupaciones diferentes en cada escala, al compararse con otro niño. Esto hace difícil establecer modelos homogéneos en términos del funcionamiento de la experimentación.

Este hallazgo es significativo en la medida en que, pese a las diferencias identificadas entre las tareas, los patrones de funcionamiento de la experimentación suponen, no obstante, semejanzas y regularidades que requieren de exploración más profunda. La identificación de estos patrones es un avance en la exploración profunda del micro-desarrollo de la experimentación. Esto confirma que las dinámicas de la operativización del pensamiento científico en la experimentación no corresponden a las de un proceso lineal, sino a uno caracterizado por la complejidad y la no ergodicidad a nivel inter e intraindividual. Este hallazgo se desarrollará en el capítulo siguiente y será explotado desde técnicas de los SDNL.

No obstante, se observan ciertas regularidades que subyacen a esta variabilidad y permiten la identificación de agrupaciones. En esta línea, lo definitivamente importante es ahondar en la comprensión del tipo de orden que subyace a la variabilidad y a los patrones descritos. El análisis de las agrupaciones promedio para cada objetivo en las tres tareas, haciendo uso de la técnica de Varclus, identifica una tendencia general, a lo largo de todas las sesiones, en relación con

los objetivos que presentan mayor dificultad. Estos objetivos son para todas las agrupaciones el 1 y el 6, caracterizados por las puntuaciones más bajas en lo que respecta a promedios de desempeños en el funcionamiento de la experimentación.

Complementaria y coincidentemente se aprecia una diferencia significativa entre los objetivos 1 y 6, siendo el primero el más difícil en términos generales. De todos modos, ambos objetivos son considerados “objetivos espejo” dentro de la estructura de la tarea, integrada por las parejas de objetivos 1-6, 2-5, y 3-4. Las dos últimas parejas, aunque presentan diferencias entre agrupaciones, no poseen un patrón tan definido como el de 1-6. Este hallazgo confirma la existencia de patrones significativos de variabilidad para las diferentes tareas y sus correspondientes objetivos. Se puede observar que la forma en que los sujetos interactúan con los sistemas de objetos en movimiento, con el fin de identificar las regularidades que subyacen a su funcionamiento se caracteriza por trayectorias variables. Las trayectorias correspondientes a los índices de error y los promedios de desempeño del funcionamiento de la experimentación mostraron además que el estudio de la experimentación en tiempo real presenta cambios y emergencias constantes. Esto es congruente con la afirmación de Puche-Navarro y Martí (2011) acerca que la variabilidad y las fluctuaciones son inherentes al desarrollo cognitivo.

La identificación de distintos patrones de experimentación (ligados a las agrupaciones encontradas), que podrían ser explicados como diversas formas en que opera cognitivamente el niño a lo largo de las tareas, soporta la idea de que la experimentación se desarrolla por medio de “ciclos de reflexión sobre lo ya pensado, y de revisión, que tienen lugar en todos los momentos del proceso”, de manera que “la comprensión alcanzada en una fase específica prolifera hacia atrás” (Lehrer & Schauble, 2008, p.513).

Esta naturaleza recursiva de la experimentación no se verificaría como una tendencia regular en una muestra que se comporta de modo similar en términos generales, sino como una característica que es operacionalizada de distinto modo,

dependiendo de la forma en que se lleva a cabo la interacción específica entre cada sujeto y las situaciones de resolución de problema. El resultado de ello es una tendencia al cambio que atraviesa todo el proceso, y que se debe a la forma en que los procedimientos de los participantes son modificados como resultado de la interacción con los datos con los que cuentan, y de la propia variabilidad que es inherente al pensamiento científico.

Para concluir, una tendencia hacia desempeños más altos fue encontrada como característica en toda la muestra. Además, el hecho de que los participantes hayan podido comprender sin guía de adultos el funcionamiento de los sistemas, permiten confirmar que los niños en edad pre-escolar se encuentran en capacidad de articular las actividades cognitivas correspondientes a la coordinación de los efectos de múltiples variables, la revisión de hipótesis-teoría, y el razonamiento causal. Esta articulación no responde, necesariamente, al patrón ideal del funcionamiento cognitivo adulto, ni a la aplicación continuada de un procedimiento específico. Lo anterior se manifiesta en el hecho de que las trayectorias, tanto en lo relativo a los niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación, como en lo relativo a los índices de error. Los dos indicadores presentan el significativo grado de variabilidad inter e intra-individual que ha sido identificado a partir del análisis, aunque las tres tareas respondan a la misma lógica, y consistan en sistemas con un funcionamiento similar desde una perspectiva adulta.

Como conclusión de todo lo anterior, es posible caracterizar el funcionamiento de la experimentación en niños como un proceso no secuencial ni lineal, de naturaleza compleja y no ergódica. Este funcionamiento cognitivo equivale a la operacionalización del pensamiento científico como un ejemplo de sistema dinámico complejo.

Es debido a estas características del funcionamiento de la experimentación, es que las técnicas estadísticas tradicionales resultan insuficientes. Desde dichas técnicas, no es posible dar cuenta de aspectos importantes como el desfase intra-individual entre los niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación y los índices de error, y los patrones que de éstos se derivan.

Los resultados hasta aquí obtenidos confirman que para el estudio del funcionamiento de la experimentación en los niños, es necesario otro tipo de abordaje metodológico. Una opción es el uso de técnicas que permitan caracterizar y comprender la complejidad de las trayectorias descritas por los niveles de desempeño del funcionamiento de la experimentación y los índices de error analizados. Este tipo de abordaje permite ir más allá de la tradicional identificación de un modelo mental o diferencias de funcionamiento cognitivo entre grupos de edad.

Con seguimientos más extensos y detallados en el tiempo, estos hallazgos podrían servir para el establecimiento de modelamientos del desarrollo del pensamiento científico. Además permitiría describir la forma como éste se operacionaliza en la experimentación, realizados a partir de inferencias de control y de crecimiento extraídas de dichos patrones. Es por esto que, como un primer paso para dicho tipo de estudio, lo encontrado hasta este punto será replicado y profundizado en un capítulo posterior dedicado a la exploración de las trayectorias de micro-desarrollo del pensamiento científico. Esto se realiza por medio de la aplicación de la técnica de Montecarlo a los índices de error para cada objetivo en una muestra de 4 participantes.

Adicionalmente, los hallazgos hasta aquí descritos son complementados posteriormente con análisis en profundidad de las trayectorias de desempeño por medio de la técnica de gráficas MIN-MAX y de rejillas de estado de espacio. Este tipo de análisis permite, a través de un abordaje microgenético, observar la manera en que las estructuras y procesos cognitivos se transforman en acciones y se despliegan a lo largo del tiempo.

Con este método es posible abordar la experimentación como un proceso dinámico, en cuyo desarrollo interactúan y se articulan, de modo estrecho, la coordinación de los efectos de múltiples variables, la evaluación de evidencia/hipótesis, y el razonamiento causal, sin que ello implique una sucesión de pasos normativos en la resolución de un problema.

Referencias

- Chen, Z., & Klahr, D. (2008). Remote transfer of scientific reasoning and problem-solving strategies in children. *Advances in Child Development and Behavior*, 36, 419-470.
- Chinn, C.A., & Malhotra, B.A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. doi:10.1002/sce.10001
- Gopnik, A., Glymour, C., Sobel, D., Schultz, L., Tamar, K., & Danks, D. (2004). A theory of causal learning in children: Causal maps and Bayes nets. *Psychological Review*, 111(1), 3-32.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: the cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effect of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661–7. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x
- Koslowski, B. & Masnick, A. (2002). Causal Reasoning. En U. Goswami (Comp.), *Handbook of child cognitive development*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Koslowski, B., Marasia, J., Chelenza, M., & Dublin, R., (2008). Information becomes evidence when an explanation can incorporate it into a causal framework. *Cognitive Development*, 23(4), 472-487.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674–689.
- Kuhn, D. (2010) What is scientific thinking and how does it develop? En U. Goswami (ed), *Handbook of childhood cognitive development*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. doi: 10.1002/9781444325485.ch19
- Kuhn, D., & Pease, M. (2008). What Needs to Develop in the Development of Inquiry Skills? *Cognition and Instruction*, 26(4), 512–559. doi:10.1080/07370000802391745
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Orlando, FL: Academic Press.
- Kuhn, D., Iordanou, K., Pease, M., & Wirkala, C. (2008). Beyond control of variables: What needs to develop to achieve skilled scientific thinking? *Cognitive Development*, 23(4), 435–451. doi:10.1016/j.cogdev.2008.09.006

- Lehrer, R., Schauble, L., & Lucas, D. (2008). Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development*, 23(4), 512–529. doi:10.1016/j.cogdev.2008.09.001
- Molenaar, P.C.M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science: bringing the person back into scientific psychology, this time for ever. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 2(4), 201–218.
- Puche-Navarro, R. (Ed.). (2005). *Formación de herramientas científicas en el niño pequeño* [Formation of scientific tools in the young child]. Cali: Arango Editores.
- Puche-Navarro, R., Colinviaux, D., & Dibar, C. (Eds.). (2001). *El niño que piensa: Un modelo de formación de maestros* [The child who thinks: A model of formation of teachers]. Cali: Artes Gráficas del Valle Editores.
- Puche-Navarro, R., Combariza, E., & Ossa, J.C. (2012). La naturaleza no lineal de los funcionamientos inferenciales: Un estudio empírico con base en el humor gráfico. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 30(1), 27-38.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20(1), 99–149. doi:10.1006/drev.1999.0497
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223. doi:10.1016/j.dr.2006.12.001

CAPÍTULO 3. TRAYECTORIAS EN EL MICRO-DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO: UN ABORDAJE NO-ERGÓDICO

En el marco de una concepción dinámica del desarrollo cognitivo este capítulo aborda el micro-desarrollo del pensamiento científico en 4 niños durante la realización de 3 tareas en formato digital, relacionadas con la experimentación. El objetivo es establecer las *trayectorias* (Yan & Fischer, 2002) que caracterizan al funcionamiento cognitivo durante situaciones de resolución de problemas que involucran el pensamiento científico. A continuación se presenta una introducción constituida por las consideraciones teóricas que sustentan este tipo de abordaje del desarrollo cognitivo, y específicamente, del desarrollo del pensamiento científico.

En primera instancia, se exponen los motivos por los cuales el estudio del desarrollo requiere de metodologías y perspectivas teóricas, como la de Sistemas Dinámicos no Lineales, que trasciendan los alcances de los abordajes dirigidos a describir sistemas de tipo ergódico. Posteriormente, se presentan las propiedades de los Sistemas Dinámicos no Lineales que hacen de ésta una base teórica pertinente para dar cuenta de las implicaciones que las *trayectorias* complejas, que caracterizan al funcionamiento cognitivo, tienen en relación con la forma en que se comprenden los procesos de desarrollo.

Esto es necesario en la medida en que, en el capítulo anterior, los resultados de la aplicación de técnicas estadísticas tradicionales y la técnica de agrupamiento de *varclus* a los desempeños de los sujetos en el corto tiempo durante un estudio transversal, mostraron la presencia de variabilidad inter e intraindividual en la ejecución de las tareas pese a su estructura similar.

Sin embargo, los datos resultantes de la aplicación de la técnica de *varclus* en el capítulo 2 no permiten realizar un modelamiento detallado de las trayectorias de desempeño de los sujetos en el funcionamiento de la experimentación. Por este motivo, se requiere del recurso a técnicas propias de los sistemas dinámicos no lineales, que permitan la caracterización de la complejidad del funcionamiento de

la experimentación bajo la forma de trayectorias de micro-desarrollo. Esto se complementa con un abordaje microgenético de las trayectorias que describen dichos desempeños. La aproximación al funcionamiento de la experimentación en los niños, concebida en un abordaje longitudinal, y desde un enfoque dinámico, permite ir más allá de la tradicional identificación de un modelo mental o diferencias de funcionamiento cognitivo entre grupos de edad.

Con seguimientos de este tipo, más extensos y detallados en el tiempo, se podrían obtener datos que sirvan para el establecimiento de modelamientos del desarrollo del pensamiento científico, y de la forma como éste se operacionaliza en la experimentación, realizados a partir de inferencias de control y de crecimiento extraídas de los patrones identificados. Es por esto que, como un primer paso para dicho tipo de estudio, lo encontrado hasta este punto será replicado y profundizado en un capítulo posterior dedicado a la exploración de las trayectorias de micro-desarrollo del pensamiento científico. Esto se realiza por medio de la aplicación de la técnica de Montecarlo a los índices de error para cada objetivo en una muestra de 4 participantes.

Adicionalmente, los hallazgos hasta aquí descritos son complementados posteriormente con análisis en profundidad de las trayectorias de desempeño por medio de la técnica de gráficas MIN-MAX y de rejillas de estado de espacio. Este tipo de análisis permite, a través de un abordaje microgenético, observar la manera en que las estructuras y procesos cognitivos se transforman en acciones y se despliegan a lo largo del tiempo. Con este método es posible abordar la experimentación como un proceso dinámico, en cuyo desarrollo interactúan y se articulan, de modo estrecho, la coordinación de los efectos de múltiples variables, la evaluación de evidencia/hipótesis, y el razonamiento causal, sin que ello implique una sucesión de pasos normativos en la resolución de un problema.

La no ergodicidad del desarrollo cognitivo y sus implicaciones metodológicas

Los procesos relativos al desarrollo cognitivo se caracterizan por el hecho de que no presentan una naturaleza permanente y continúa entre los sujetos ni son estacionarios. Sin embargo, las metodologías tradicionalmente utilizadas por la investigación psicológica para explicar el cambio no dan cuenta de dicha naturaleza. Tal vez estudios en series de tiempo con varias mediciones que den mejor cuenta de los procesos del desarrollo de la experimentación y el pensamiento científico. La cuestión entonces es que el abordaje tradicional de los estudios psicológicos no dan cuenta de la complejidad de estos procesos debido a que los abordan como si se tratara de sistema ergódicos. La falta de sensibilidad ante este problema entre los psicólogos es sin duda un aspecto importante para discutir, y cobra aún más relevancia si se está hablando acerca de la psicología del desarrollo. Si este problema se abordara en profundidad, varios aspectos de la investigación en desarrollo podrían ser revisados.

Los sistemas ergódicos se caracterizan por presentar dos condiciones fundamentales. En primer lugar, sus procesos son de tipo estacionario. Esto implica que la media estadística funciona como constante en el tiempo, y que no se presentan tendencias o ciclos. Funcionan mediante una dependencia secuencial constante a lo largo del tiempo, que se caracteriza por la presencia de una varianza constante y de correlaciones dependientes sólo entre la distancia relativa entre puntos de tiempo (Valsiner, Molenaar, Lyra & Chaudhary, 2009).

En segundo lugar, se supone que todos los integrantes de la población estudiada responden a las mismas dinámicas. En los procesos ergódicos, en los que se cumplen ambas condiciones, existen relaciones legales (y de correspondencia) entre variación inter e intra-individual, mientras que para los procesos no-ergódicos dichas relaciones no existen (Valsiner et al., 2009).

Gran parte de las investigaciones en el desarrollo del pensamiento científico aborda las poblaciones estudiadas asumiendo de antemano su ergodicidad. Dichas investigaciones se centran en plantear problemas de investigación dirigidos a dar cuenta de la variación inter-individual en las muestras estudiadas. Los resultados se generalizan al conjunto de la población. En consecuencia, estas

investigaciones con abordajes ergódicos, generan conclusiones orientadas a describir el estado de la cuestión al nivel de la población y no al de los sujetos individuales (Valsiner et al., 2009). La idea que subyace a este tipo de análisis es que hay una correspondencia entre el desarrollo individual de los sujetos y los cambios encontrados al comparar diferentes grupos de edad en una población. De este modo se pasa por alto el estudio de la forma en que en realidad se manifiestan los cambios en los procesos individuales.

La cuestión es que el estudio del desarrollo con base en la comparación entre estados que suponen una naturaleza estacionaria, caracterizada por etapas fijas e invariables, y por un progreso lineal y teleológico, entra en contradicción con la heterogeneidad que se ha evidenciado en los itinerarios individuales de desarrollo (Puche- Navarro & Marti, 2011; Van Geert, 2011; Van Geert, 2000; Valsiner et al. (2009). La realidad de los hechos aportados en estos trabajos señalan que cuando se trata de procesos tales como el desarrollo y el aprendizaje solo se puede obtener información básica a través de análisis de series de tiempo. Estos autores asumen el desarrollo como un proceso esencialmente no ergódico, lo que implica concebirlo como un proceso complejo, dinámico y no lineal, cuya descripción sobrepasa las posibilidades de los enfoques tradicionales y requiere el diseño de metodologías capaces de rastrear trayectorias de desarrollo complejas. Se requiere de metodologías que permitan describir el cambio en tiempo real. También deben poder dar cuenta, a propósito de dos momentos cualitativamente diferentes, de lo que ocurrió entre ambos momentos, la manera en qué se movilizó el sistema, y las fuerzas que interactuaron en el despliegue de dicha movilización.

El desarrollo cognitivo como sistema no-ergódico. Reconsideraciones teóricas sobre la variabilidad.

Un conjunto de estudios recientes sobre el desarrollo cognitivo (Siegler, 2000; Siegler 2007; Fischer & Bidell, 2006; Puche-Navarro, 2003; Puche-Navarro, 2004; Puche-Navarro, 2011; Cortés, Combariza & Puche-Navarro, 2009) señalan que la variabilidad caracteriza los desempeños de los sujetos, tanto a nivel intra-individual como inter-individual. Adicionalmente, en lo que respecta al estudio del

desarrollo en un nivel micro, se observa que los desempeños de los niños ante las tareas tienden a presentar itinerarios diversos (Siegler, 2002, Siegler, 2006; Miller & Coyle 1999; Puche-Navarro, 2004; Adolph, Robinson, Young & Gil-Alvarez, 2008). De lo anterior se concluye que al hablar de desarrollo se hace referencia a un conjunto de procesos cuya naturaleza se acerca más a la de los sistemas no-ergódicos (Valsiner et al., 2009), que a un sistema estacionario en el que se cumplen las condiciones de la ergodicidad.

Las dinámicas que caracterizan al desarrollo distan, por tanto, de ser lineales y responder a un proceso de carácter teleológico, con etapas definidas, en el que cada estadio representaría un avance cualitativo ligado a la edad (Yan y Fischer, 2002). La presencia de variabilidad en los desempeños de los sujetos puede ser asumida como un indicador de este carácter no estacionario y no lineal del desarrollo y el funcionamiento cognitivos. Son variados y contundentes los estudios que muestran que no hay sucesiones entre momentos ni continuidades fijas en el desarrollo (Adolph et al., 2008; Puche-Navarro, 2007). Más que una sucesión estable de etapas lo que se encuentra es una fluctuación variada que se observa en las trayectorias del desarrollo (Combariza & Puche Navarro, 2012). Es por esto que resulta necesario concebir la variabilidad como una característica fundamental del desarrollo (Yan & Fischer, 2002; Siegler, 2002; Puche-Navarro, 2008)

Además de que la variabilidad puede asumirse como una característica del desarrollo identificada en múltiples estudios, ésta adquiere el carácter de una propiedad intrínseca del mismo. Por vía de la comprensión de la variabilidad se estaría avanzando en la comprensión de la no-ergodicidad del funcionamiento cognitivo. Siguiendo esta perspectiva, autores como Yan y Fischer (2002b) han indicado que concebir el desarrollo a partir de la variabilidad permite una reformulación de las concepciones estáticas de éste que tienen las perspectivas clásicas. Para Fischer y Bidell (2006), las habilidades no tienen un nivel fijo de organización, sino que “dicha organización presenta diferentes niveles de complejidad, siempre cambiante” (p.329).

Desde este punto de vista, la variabilidad es una “consecuencia natural de los sistemas Dinámicos” (Fischer & Bidell, 1998; Fischer & Bidell, 2006, p.320). Se asume el desarrollo como dinámico y complejo, en la medida en que “las trayectorias de desarrollo para las actividades individuales se mueven a través de patrones dinámicos de cambio, mostrando sólo excepcionalmente líneas rectas” (Fischer & Bidell, 2006, p.349). Estos aspectos han sido abordados en otros estudios (Fischer & Bidell, 1998; Fischer & Yan, 2002). Es más, en esta dirección Puche Navarro (2012) afirma que la variabilidad como característica inherente al desarrollo ha determinado el cambio más importante en los estudios sobre cognición en las últimas décadas.

En los estudios tradicionales la variabilidad en el desempeño de los sujetos era asumida como problema técnico, un error de varianza, un problema de medidas (van Geert & van Dijk, 2007; Puche-Navarro, Combariza & Ossa, 2012). Por el contrario, desde una perspectiva de la ciencia del desarrollo que concibe éste como variable, se la asume, en principio, como un problema conceptual que crea una incertidumbre en la psicología del desarrollo (Puche-Navarro et al., 2012). Dicha incertidumbre es el punto fundamental que debe ser esclarecido para ahondar en la comprensión de la naturaleza real (no ergódica) del desarrollo cognitivo. Según la misma Puche Navarro, tanto en el nivel micro como en el macro, el carácter variable del desarrollo se manifiesta a través de un “conjunto de fluctuaciones y movilizaciones que marcan el acceso a un cierto nivel de comprensión” (Puche-Navarro et al., 2012). Dichas fluctuaciones y movilizaciones son correlativas a procesos de desarrollo y micro-desarrollo en los que “no hay una sucesión fija de etapas”, y “una etapa previa como condición de la siguiente queda relegada a casos muy específicos” (Puche-Navarro et al., 2012). Por tanto el desarrollo se asume, al contrario de la manera como lo describen los abordajes lineales tradicionales, el desarrollo sería “discontinuo, con espacios de cohabitación de lo nuevo con lo viejo” (Puche-Navarro, et al., 2012).

Este énfasis en la naturaleza discontinua y no lineal del desarrollo determina el hecho de que se hagan necesarios abordajes del mismo, como el basado en teoría de Sistemas Dinámicos no Lineales, que puedan dar cuenta de estas características. La explicación desde los sistemas dinámicos no lineales hace factible la descripción del funcionamiento real de la variabilidad dentro del desarrollo, y permite asumir al desarrollo mismo como variable, de modo que se puede “dar cuenta de las dinámicas siempre cambiantes de la actividad cognitiva” (Combariza & Puche-Navarro, 2009). De esta manera pueden ser estudiados los “objetos y condiciones del cambio, así como también los mecanismos subyacentes al acceso a lo nuevo” (Puche-Navarro et al., 2012).

Los sistemas dinámicos permiten concebir la variabilidad no como un indicador de inestabilidad consustancial al desarrollo, sino como la característica del mismo por medio de la cual se puede indagar la manera en que dicho sistema responde a las especificaciones de los sistemas dinámicos complejos.

El abordaje de la no-ergodicidad del Desarrollo Cognitivo desde los Sistemas Dinámicos no Lineales.

El abordaje de los problemas del desarrollo desde la teoría de sistemas dinámicos no lineales, complementado por un método de análisis microgenético, está en capacidad de recuperar la complejidad de las trayectorias que caracterizan al funcionamiento cognitivo. Una re-conceptualización del desarrollo desde una perspectiva dinámica implica una ruptura con las concepciones basadas en descripciones del cambio a partir de comparaciones entre sujetos en grupos de edades diferentes. Tales comparaciones suelen estar dirigidas a encontrar diferencias significativas entre estos grupos de edad, que puedan servir para señalar en qué momento aparece X o Y tipo de funcionamiento, y no ahondan en la comprensión del proceso que ha generado ese cambio.

La re-conceptualización del desarrollo desde una perspectiva dinámica permite repensar el desarrollo como un sistema en que interactúan los niveles macro y micro (Hollenstein, 2007; Gottlieb, 2003). Desde este enfoque la exploración del desarrollo cognitivo implica la necesidad de aproximarse a las dinámicas del micro-desarrollo. En este caso, dichas dinámicas se exploran en el contexto específico del pensamiento científico. A continuación, se presenta la descripción de los aspectos propios de la teoría de sistemas dinámicos no lineales que permiten aproximarse al desarrollo del pensamiento científico a través del estudio de las dinámicas del micro-desarrollo.

El estudio del desarrollo cognitivo desde los sistemas dinámicos no lineales.

Un grupo importante de autores concluye que el estudio del desarrollo cognitivo se acoge a una conceptualización desde la teoría de sistemas dinámicos no lineales (Yan & Fischer, 2002; van Geert & van Dijk, 2002, Van Dijk & van Geert, 2007; Cortés et al., 2009; Guevara & Puche-Navarro, 2009; Puche-Navarro. 2009). Estos sistemas son definidos como:

Cualquier colección de componentes (tales como individuos en un grupo social, percepciones, memorias recuperadas, acciones motoras y diversas actividades mentales internas en el caso de un proceso cognitivo), que interactúan con otras, y que cambian sus propiedades entre sí como resultado de esa interacción. (Van Geert, 2008)

Los sistemas que responden a esta definición general se caracterizan por presentar la emergencia de estados de atractor (Guevara & Puche-Navarro, 2009; Spencer & Perone, 2008), organizaciones de los componentes débilmente ensambladas (Thelen & Smith, 1994), diferenciación en escalas de tiempo que interactúan mutuamente y cambio discontinuo. Con base en estas propiedades, la investigación se dirige a la descripción matemática de los procesos de cambio en términos de las interacciones de un conjunto de variables.

Dicha investigación parte del principio de no linealidad, el cual consiste en el hecho de que las dinámicas e interacciones que determinan el cambio “son más o menos independientes del fenómeno sobre el que se aplican” (Van Geert, 1994). En estos sistemas los efectos de las influencias no son proporcionales a la magnitud de éstas. Un cambio grande puede ser generado por causas consideradas como pequeñas, o viceversa.

La consecuencia de este principio es que la *emergencia* adquiere un papel de primer orden en la comprensión de la forma en que un sistema pasa de un estado al siguiente o como aparece algo auténticamente nuevo como producto de la interacción de un sistema. La idea de la emergencia puede articularse con la idea piagetiana (Piaget, 1973) acerca de la auto-regulación. En cierto modo la emergencia de nuevas formas de organización es una forma recursiva de auto-organización del sistema cognitivo. A través de este principio nuevas formas organizadas de responder a un problema aparecen como producto de la interacción entre el sujeto y el objeto de conocimiento.

Lewis (2000) señala, a propósito de la emergencia, que el desarrollo es “un proceso capaz de explicarse por la *emergencia espontánea y coherente* de formas de orden superior a través de interacciones recursivas entre componentes más simples”. Dicha emergencia sería, según el mismo autor, producto de la auto-organización. De esta manera se aporta una base teórica al estudio del desarrollo que presenta un mayor poder explicativo que los abordajes basados en la idea de un sujeto en el que todos los procesos inherentes al funcionamiento cognitivo se encontrarían “pre-establecidos o codificados genéticamente” (Lewis, 2000). Estos procesos se desenvolverían según un programa similar en el caso de todos los sujetos, con etapas ligadas a diferentes edades, y con independencia de las condiciones y los contextos particulares.

Este énfasis en la importancia de la *emergencia* como factor que da cuenta del cambio, está a su vez relacionado con el hecho de que el desarrollo cognitivo no

es un sistema cerrado en sí mismo, sino que se lleva a cabo a través de múltiples interacciones entre las características genéticas-biológicas de los sujetos, sus experiencias y las situaciones en que se encuentran envueltos en tiempo real.

Según Lewis (2000), es en la interacción entre estos factores que se generan las condiciones para que “emerja un dominio determinado” o “un modo particular de actuar” en una situación específica. En el caso del desarrollo, el cambio no está pre-especificado por reglas internas estacionarias, ni tampoco es el producto exclusivo de la influencia del ambiente sobre los sujetos. De hecho, se afirma que “el desarrollo humano es un ejemplo de la tendencia universal hacia una coherencia de orden superior” (Lewis, 2000, p.36) que caracteriza al funcionamiento de los sistemas dinámicos en variados campos del conocimiento.

Esta dinámica de **mutua dependencia** entre múltiples factores es una de las propiedades fundamentales de los Sistemas dinámicos complejos. En este tipo de sistemas no aplica una lógica de causalidad unívoca porque todos los elementos se constituyen tanto en causales como en consecuencias del cambio. A su vez, la interdependencia de los múltiples factores que integran un sistema dinámico complejo está en relación con la **auto-organización**. Esta característica es responsable del surgimiento espontáneo de estructuras, u orden, a partir de configuraciones previas que no presentan un orden aparente. Las nuevas formas de organización son “estados preferidos” débilmente ensamblados, o “*estados de atractor*”.

Por otra parte, la **iteración** se refiere a la aplicación de una función, una y otra vez, desde el momento inmediatamente precedente, entre los diferentes momentos del sistema. Esta propiedad está relacionada con la no-linealidad.

Una última propiedad de los SDNL es que en estos se puede apreciar la existencia de patrones estables, cíclicos o caóticos, que son denominados “**atractores**”. Según Puche-Navarro (2011) desde los atractores se puede abordar mejor la variabilidad. Los atractores son puntos especiales hacia los cuales el sistema

gravita a través del tiempo (Spencer & Perone, 2008). Cuando se habla de atractores estos implican regiones de convergencia de *trayectorias* que pese a su apariencia de desorden, en realidad presentan un orden y una periodicidad subyacente, en la forma de patrones no evidentes a primera vista (Thelen & Smith, 1998).

Una descripción general de la forma en que el funcionamiento cognitivo (y, por ende, el desarrollo) son manifestaciones de la interacción de estas propiedades es la presentada por Lewis (2000) quien describe la manera en que los procesos ligados al cambio se manifiestan en tiempo real. Según este autor, cuando los sujetos están siendo estudiados, en primera instancia se observa estabilidad en sus desempeños. Este período de estabilidad refleja la puesta en acción de una estructura resistente y permanente, adquirida previamente, durante determinado lapso de tiempo. Posteriormente, empiezan a presentarse movilizaciones que aparecen bajo la forma de inestabilidades o fluctuaciones en el desempeño. Estas son producto de la alternancia entre comportamientos antiguos y aquellos que emergen en la nueva situación.

La hipótesis de Stephen y Dixon (2009) a propósito de la cognición, sugiere que las nuevas estructuras cognitivas emergen a través de la auto-organización del sistema cognitivo cuando los sujetos están interactuando con la tarea. Esto puede extenderse a todas las interacciones en las que el sistema cognitivo se modifica como resultado de las dinámicas que se establecen entre el sujeto y el ambiente.

Estos nuevos modos de funcionamiento, son susceptibles de constituirse progresivamente en formas más estables. Esto ocurre en la medida en que el sistema cognitivo se auto-organiza y estabiliza. Tal estabilización no es un proceso lineal, y ocurre a través de todas las escalas de tiempo. Los procesos de auto-organización subyacen a la emergencia de nuevas conductas. Durante estos procesos se observa una significativa variabilidad en las trayectorias de desempeño. Estas trayectorias no siguen patrones lineales y su estudio permite identificar las transiciones entre los diferentes estados del sistema.

Sin embargo, pueden ser detectados ciertos patrones en la constitución de tales *trayectorias*. Entre estos, los que tienden hacia una estabilidad mayor que los restantes, equivalen a nuevos regímenes estructurales, o atractores de espacio de estado (Lewis, Lamey & Douglas, 1999). El cambio en el desarrollo según estos autores estaría determinado por la alternancia entre la fluctuación y la novedad en el repertorio de acciones del funcionamiento cognitivo.

Metodológicamente la cuestión es que se requieren seguimientos en tiempo real a través de estudios de carácter longitudinal para recuperar la forma en que “las actividades del sistema dan lugar a un patrón” (Lewis et al., 1999). Este tipo de patrones debe ser entendido como una estructura en el funcionamiento cognitivo, que deja huellas en el sistema, y que hace que sea más probable que este patrón reaparezca en el futuro (Lewis et al., 1999), sin que implique una etapa o escalón fijo en el desarrollo.

Un ejemplo de abordaje de la variabilidad del sistema cognitivo desde una metodología similar, basada en sistemas dinámicos no lineales, y haciendo uso de un método microgenético en el análisis de desempeños, se encuentra en Ossa (2012). Este autor avanzó en la dirección de Yan y Fischer (2007), quienes señalan que la variabilidad “es entendida como el camino para entender a naturaleza del desarrollo” (Ossa, 2012, p.16). El aporte de Ossa consiste en la exploración de la relación entre la variabilidad y los desequilibrios cognitivos, y en la caracterización de las rutas del desarrollo por medio de la identificación de las probabilidades de cambio de las trayectorias y de los patrones de variabilidad que presentan dichas trayectorias. Ossa identificó, usando las técnicas de K-medias y de matrices de transición, tres patrones de variabilidad en niños de 4 años enfrentados a la tarea de “las caritas”, en la cual debían hacer uso de funcionamientos inferenciales y clasificatorios. En esta tarea debían clasificar la información para realizar inferencias sobre un personaje específico dentro de un grupo de cartas con distintos rostros. Las búsquedas realizadas por los niños se

clasificaron en tres tipos, los cuales fueron denominados como de búsqueda aleatoria o por barridos espaciales, búsqueda fluctuante (en torno a un criterio de clasificación), y búsqueda siguiendo dos o más criterios de clasificación. Los patrones de variabilidad encontrados fueron los de variabilidad restringida, el de fluctuación y el de crecimiento-límite. En relación con estos patrones las matrices de transición permitieron identificar tres tipos de dinámicas de transición.

La dinámica de transición estable, que caracteriza a la variabilidad restringida refleja transiciones estables en el tiempo y probabilidades estacionarias con fluctuaciones suavizadas (Ossa, 2012). La dinámica de transición fluctuante, que está en relación con la variabilidad fluctuante refleja transiciones irregulares en el tiempo y probabilidades estacionarias con cambios oscilantes (Ossa, 2012). La dinámica de cambio y estabilidad en un nuevo punto de equilibrio refleja un cambio en las probabilidades de transición a partir de la 2ª aplicación de la tarea (Ossa, 2012). En este último caso, después de que se presenta el cambio en las probabilidades de transición, se observa “una marcada tendencia por realizar búsquedas orientadas por dos criterios, y se reducen ostensiblemente las probabilidades de realizar búsquedas aleatorias y orientadas por un criterio (Ossa, 2012). A partir de los patrones de variabilidad y los patrones de búsqueda Ossa (2012) encontró dos puntos de equilibrio en el sistema cognitivo en niños de 4 años. El primero tiene relación con las búsquedas aleatorias o por barridos espaciales, mientras el segundo corresponde a una búsqueda sistemática.

A propósito de la variabilidad, se observó que el tipo búsqueda fluctuante se consolida como el escenario de exploración donde la variabilidad cumple un papel privilegiado (Ossa, 2012). De esta manera, este estudio, al igual que el de Ossa y Puche-Navarro (2009) avanza en la comprensión de las dinámicas complejas que caracterizan al funcionamiento cognitivo de los niños. Por medio de la identificación de la relación entre tipos de transición, patrones de búsqueda y patrones de variabilidad en relación con los momentos de desequilibrio del sistema cognitivo se trasciende la postulación de Yan y Fischer (2002) acerca de un proceso en el que los sujetos pasan de novato a experto. El hallazgo de patrones

en tareas que involucran funcionamientos inferenciales y clasificatorios complejos, ligados a la variabilidad, abre la vía para la exploración de las regularidades que subyacen a la variabilidad del desarrollo cognitivo. También permite pensar en su modelamiento a partir de las propiedades de los sistemas dinámicos no lineales.

En conclusión, dadas las características del desarrollo hasta aquí descritas, la base teórica de los sistemas dinámicos permite explorar los procesos, mecanismos y propiedades del mismo. Tal exploración tiene lugar a lo largo y ancho de diferentes dominios y en diversas escalas de tiempo. Para muchos autores es necesario avanzar en la comprensión de las *transiciones* que subyacen a las transformaciones cualitativas del sistema cognitivo, las cuales hacen parte de las propiedades auto-organizativas del desarrollo (Yan & Fischer, 2002; Courage & Howe, 2002; van Geert & van Dijk, 2003; Puche-Navarro, 2008).

En este punto es importante señalar que autores como Yan y Fischer (2002) han identificado, a partir del estudio del aprendizaje en adultos, tres patrones de variación que son característicos del microdesarrollo. El primero de tales patrones es el que concierne a la identificación de rangos de atractores. En este caso, el rango de atracción se asume como el reflejo de la magnitud que posee una variación entre un límite inferior y uno superior. Es decir, se trata de la identificación de la forma en que fluctúa la variabilidad (en sentido arriba-abajo) dentro de un rango permitido. El cambio es observado cuando el sistema alcanza un estado de atractor, siendo la estabilidad “un atributo eventual para la variación de un sistema dinámico que busca un estado de equilibrio que tiende a aproximarse a un atractor” (Yan & Fischer, 2002).

Un segundo patrón de variación es el que se obtiene del seguimiento de los itinerarios que describen las *trayectorias* a ser observadas durante la resolución de un problema. En este caso se parte de la base de que las acciones del sujeto en una situación determinada están sujetas a variación y a la influencia de múltiples factores en interacción que se “relacionan con el sistema dinámico del desarrollo cognitivo” (Yan & Fischer, 2002). Estas interacciones se despliegan en escalas múltiples de tiempo, afectando tanto al micro-desarrollo como al macro-desarrollo.

El tercer patrón resulta de la asincronía que existe entre el sujeto, las tareas y los dominios específicos. En este caso se parte de que los niveles de habilidad de las personas “varían ampliamente y dependen de las tareas y dominios específicos de conocimiento que la situación evoca para su resolución” (Yan & Fischer, 2002). La asincronía se concibe como la distancia que media entre las habilidades y conocimientos específicos de los sujetos, y el conocimiento real y actual acerca de la tarea particular a la que se enfrentan en un momento concreto.

Para que los sujetos generen una comprensión de la tarea deben ajustarse a la misma para aprender cuáles son los requisitos que presenta. En consecuencia, es posible observar cómo opera el micro-desarrollo a nivel individual en el marco del conjunto de interacciones que se establecen entre los factores que constituyen el sistema dinámico de la cognición.

Con base en la identificación de estos tres patrones relativos a la forma en que tienen lugar los procesos cognitivos ligados al aprendizaje, Yan y Fischer (2002) afirman que el estudio del micro-desarrollo, desde una perspectiva basada en sistemas dinámicos no lineales, se presenta como el “método ideal para: describir las variaciones, descubrir los modelos dinámicos e identificar las fases para modelar mecanismos dinámicos” que subyacen al funcionamiento cognitivo.

Estos patrones ligados a la variabilidad del funcionamiento cognitivo pueden ser extrapolados a la exploración del micro-desarrollo del pensamiento científico a través de la experimentación en niños en edad pre-escolar. Tras el establecimiento de las condiciones que determinan la viabilidad de un estudio del desarrollo del pensamiento científico desde sistemas dinámicos no lineales en el capítulo anterior, esto se realiza con el objetivo de identificar cómo se desenvuelven en el tiempo las características dinámicas de la experimentación y el pensamiento científico; y cómo dan cuenta de la correspondencia de los mismos con el conjunto de los sistemas dinámicos no lineales.

De este modo, es posible describir la manera en que los componentes del pensamiento científico que fueron identificados en la revisión bibliográfica del capítulo 1 se articulan en tiempo real y cómo opera el sistema en su conjunto en situaciones de resolución de problema.

Las preguntas específicas de investigación son:

1. ¿Existe un incremento/crecimiento en el funcionamiento de la experimentación a lo largo de tiempo? ¿De ser así que tipo de patrón lo describe?
2. ¿Es posible identificar cambios en una escala corta de tiempo en el funcionamiento de la experimentación? ¿Estos cambios son identificables dentro del marco de actividades concretas de resolución de problemas?
3. ¿Es posible identificar relaciones entre la estructura de la tarea y el funcionamiento de la experimentación de los niños?

2 Método

2.1 Participantes

En este estudio participaron un total de 4 niños en edad pre-escolar, de un nivel socio-económico medio. Los niños participantes no hicieron parte de la muestra mencionada en el capítulo 2. La muestra consistió de tres niños (Jerónimo, Samuel, y Juan, cuyas edades respectivas eran de 5;2, 5;6 y 5;6 años) y una niña (Mariana, de 5;6 años). Todos los niños asistían al mismo colegio en la ciudad de Cali (Colombia), y estaban en el grado de transición (equivalente a la escuela elemental/kindergarten, en el sistema de los Estados Unidos). Los participantes antes descritos son los mismos del capítulo 4.

2.2 Instrumentos

Debido a que los instrumentos fueron los mismos a lo largo de toda la investigación y en aras de hacer la lectura más fácil, la descripción completa de los mismos se puede revisar en la sección de método del capítulo 2.

Procedimiento

Este estudio de caso múltiple tiene un diseño mixto, e incluye análisis de eventos en el corto tiempo y análisis de eventos en tiempos largos. Una caracterización de los niveles de funcionamiento y de los índices de error de los sujetos en la experimentación fue codificada a partir de las acciones de los niños. Esto se realizó con base en la interacción, por parte de los niños, con la tarea. Estas acciones dieron cuenta de las hipótesis, la evaluación de la evidencia y/o la manera en la que los niños reconsideraban teorías a la luz de evidencia contradictoria.

Después de recibir la aprobación de los cuidadores de los niños, estos fueron confrontados con las tres tareas, durante 12 sesiones (con intervalos de 2 semanas entre las sesiones). Cada sesión se presentaba solamente una de las tareas (A, B o C). Todas las tareas fueron presentadas en el mismo orden (A, B y C). Al final, cada tarea fue presentada en 4 sesiones. Ninguno de los participantes había recibido información previamente acerca del contenido de las tareas.

Para todas las tareas y en cada sesión, fue presentada una historia de familiarización, y se permitió a los niños manipular libremente los elementos de las tareas. Esta condición respondió a la necesidad de dar seguridad al investigador sobre la comprensión de los niños acerca de la consigna, y de las variables envueltas en la construcción de cada una de las tres tareas.

Un experimentador estuvo siempre presente, introduciendo la tarea e indicando los puntos objetivos hacia los que los niños debían dirigir el móvil en cada ocasión.

El experimentador no interfirió o ayudó a los niños a alcanzar los objetivos. Las tareas fueron llevadas a cabo en los hogares de los niños, en un cuarto separado.

Se le pidió a los niños alcanzar seis distancias diferentes con la bola, y se les dio un máximo de diez intentos para alcanzar el objetivo, después de los cuales era presentado el siguiente objetivo. Las distancias están numeradas en función de su distancia, siendo 1 la más cercana y 6 la más distante. Estas situaciones requieren la comprensión de la interacción de múltiples variables, y la anticipación activa de los efectos del cambio de los valores de esas variables. (ver Fig.1)

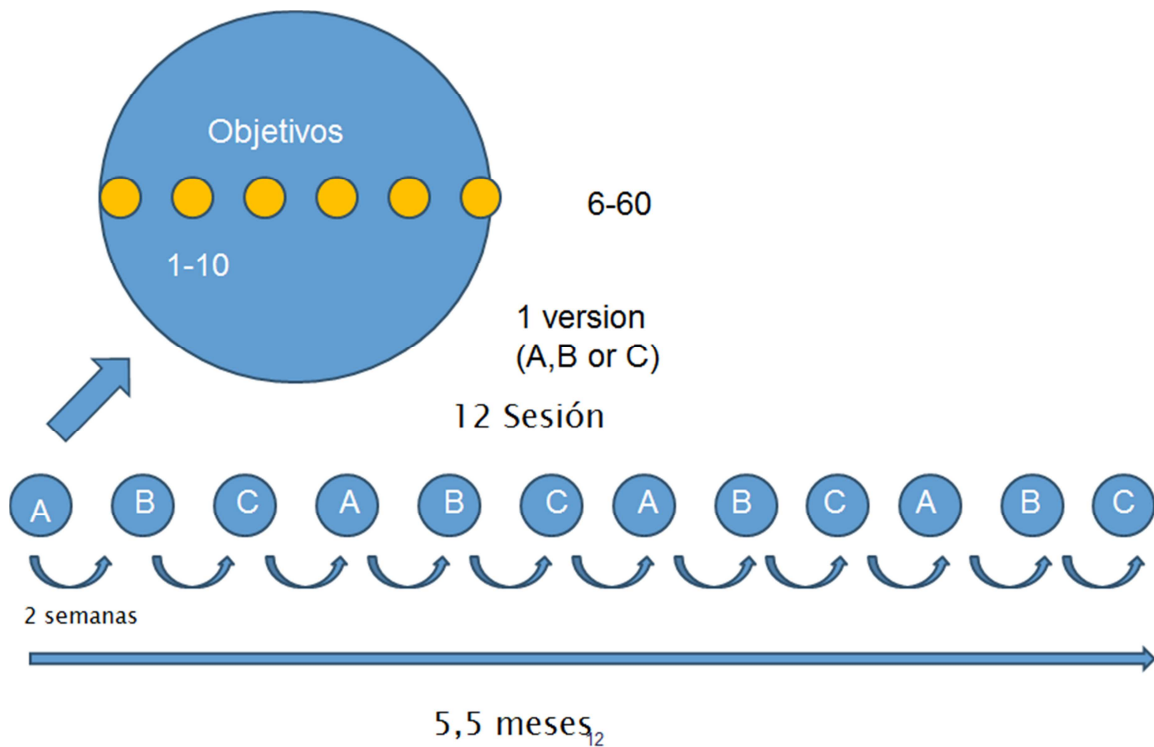


Figura 1. Representación gráfica del diseño microgenético.

El orden en el cual las distancias objetivo fueron presentadas fue determinado por la probabilidad de que el objetivo fuera alcanzado por azar. Se eligió este criterio para ajustar gradualmente el nivel de dificultad (de menos a más). Éstas fueron presentadas de acuerdo con las combinaciones de valores de variables que eran necesarias para alcanzar la distancia objetivo (ver tabla 4).

Distancias	Probabilidad
3 y 4	.28
2 y 5	.17
1 y 6	.05

Tabla 4. Probabilidad *a priori* de alcanzar los objetivos de la tarea con acción aleatoria.

En los primeros tres intentos en cada sesión las distancias fueron presentadas gradualmente en orden de la probabilidad de que el objetivo fuera alcanzado por puro azar, partiendo del más probable hasta el menos probable⁴. En los intentos 4, 5 y 6 este orden de probabilidad fue reiniciado con los restantes objetivos. Así, se presentaron las distancias en el siguiente orden: 3, 2, 1, 4, 5, 6

Los datos fueron recolectados utilizando software que registró la configuración del sistema para cada intento. Posteriormente, cada intento fue puntuado durante una sesión de codificación, haciendo uso de una hoja de cálculo de Excel, programada para puntuar los intentos en términos de los niveles de desempeño.

Debido a que el estudio pretende describir cambios en una escala de tiempo muy corta, se hizo uso de un diseño microgenético, el cual permite la comprensión de la interacción entre múltiples variables, y la anticipación activa de los efectos de los valores cambiantes sobre dichas variables.

3 **Análisis**

⁴ Esto se hizo para ajustar el nivel de dificultad de la tarea de acuerdo con la complejidad de las combinaciones en el movimiento del sistema

Construcción de las escalas: Este estudio, se centró en dos medidas como indicadores de desempeño en cada sesión. Estos son: 1) los niveles de funcionamiento de la experimentación y 2) el índice de error. En primer lugar, el desempeño del niño fue puntuado en base a los ajustes realizados por niños en las variables de la tarea con el fin de alcanzar un objetivo.

Para cada intento (cada vez que el niño se especifican los valores de las variables en la tarea y lanza el objeto de alcanzar un objetivo) se obtuvo una puntuación dentro de una escala de 9 niveles, establecido con relación con el intento anterior (correspondiendo 1 al funcionamiento menos complejo y 9 al más complejos).

Por cada intento del niño puede recibir uno de tres resultados (exceder posición objetivo, alcanzar el objetivo, no alcanzar la posición objetivo) y ajustar tres variables (A, B y / o D) aumentando, disminuir o no cambiar los valores.

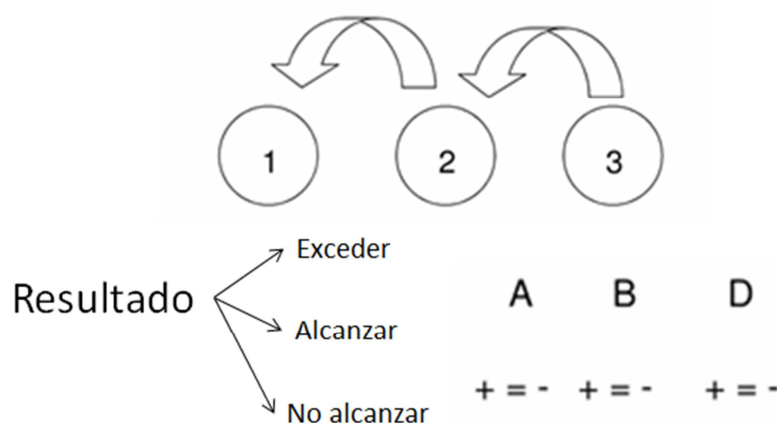


Figura 2. Representación de los ajustes de los intentos por parte de los niños.

Los niveles están organizados jerárquicamente a partir del uso de la retroalimentación tarea (uso de la información del intento anterior relacionando la distancia alcanzada vs. la distancia objetivo), la coordinación de variables (sincronización de los valores de variables para hacer el objeto se desplace en una dirección), aislamiento de variables y el éxito de llegar a la meta.

Índice de error

La suma de las
distancias
absolutas entre

Objetivo	Resultado	Error
5	3	2
5	4	1
5	5	0
Error Total		3

Figura 3. Ejemplo de índice de error-.

Tabla 5, que se muestra a continuación, resume los niveles de experimentación que resultan de los principios de codificación seguido por el algoritmo de puntuación descrito anteriormente: (para un ejemplo concreto ver capítulo 2)

Tabla 5

Los niveles de funcionamiento de la experimentación que describen el desempeño en cada intento individuo

	Nivel	Uso de la información de retroalimentación	Coordinación de variables	Aislamiento de variables	Exito
1	Reiteración de magnitudes entre los intentos	Ausencia del uso sistemático de la información de retroalimentación	Sin coordinación de variables	Sin aislamiento de variables	Sin alcanzar la distancia objetivo
2	Ajuste básico sin coordinación de la magnitud ni coordinación de la información previa.		Con coordinación de variables		
3	Ajuste básico con coordinación de la magnitud pero sin coordinación de la información previa.				
4	Ajuste básico con aislamiento de variables pero sin coordinación de la información previa.			Con Aislamiento de variables	
5	Ajustes de múltiples variables sin coordinación de la magnitud pero coordinada con la información previa	Presencia del uso sistemático de la información de retroalimentación	Sin coordinación de variables	Sin Aislamiento de variables	
6	Ajuste con múltiples variables con coordinación de magnitudes e información previa y parcialmente adaptada a la meta		Con coordinación de variables		
7	Ajuste sistemático con aislamiento de variables con coordinación de magnitudes e información previa y parcialmente adaptada a la meta				

8	Ajuste con múltiples variables con coordinación de magnitudes e información previa alcanzando el objetivo			Sin Aislamiento de variables	Alcanzando la distancia objetivo
9	Ajuste sistemático con aislamiento de variables con coordinación de magnitudes e información previa alcanzando el objetivo			Con Aislamiento de variables	

Las dos escalas (Los niveles de funcionamiento de la experimentación y el índice de error) se establecen directamente sobre las acciones del niño y registradas y puntuadas por el software. Las sesiones fueron además video-grabadas y se recogieron verbalizaciones y gestos. No obstante, dichas verbalizaciones y gestos solo serán retomadas a para complementar algunas descripciones y no serán analizadas para este trabajo. Se prevé profundizar en ellas en trabajos futuros.

El análisis está basado, en gran medida, en la descripción de las trayectorias de desarrollo individual. En primer lugar, los datos en bruto fueron organizados en combinación con la técnica de alisamiento Loess, con el fin de capturar las tendencias locales y obtener una impresión de la variabilidad local al mismo tiempo. En este punto, todos los datos, sin importar la tarea, fueron tratados como una serie de tiempo continua.

En segundo lugar, la descripción de los niveles de experimentación fue comparada con las trayectorias de índice de error. Los patrones de variabilidad del índice de error son descritos por medio de la denominada técnica de gráficas de Mínimos y Máximos: una representación gráfica —que hace uso de una ventana móvil— de los extremos más bajos y más altos en los datos; es decir, un marco de tiempo

que avanza una posición (ocasión de medida) cada vez (para una descripción más elaborada de esta técnica, ver Van Geert & Van Dijk , 2002). El resultado es una representación gráfica de los 'rangos' de variabilidad en el índice de error, y de cómo la variabilidad cambia a lo largo del tiempo.

Complementariamente, con el fin de evaluar las diferencias que se presentaron entre las tareas y al interior de éstas, fueron realizados análisis de Monte Carlo a las series de tiempo individuales. Estos análisis estuvieron basados en una técnica de permutación aleatoria, la cual, a su vez, es un procedimiento estadístico basado en la estimación de las probabilidades por medio de una selección aleatoria de muestras a partir de un conjunto de datos basados en una hipótesis nula. Los valores de los datos encontrados empíricamente son comparados con el resultado de un procedimiento de re-muestreo.

Si la probabilidad de encontrar el valor observado en el procedimiento de re-muestreo es muy baja (en este caso por debajo del 5%), se considera que el resultado difiere significativamente del modelo de hipótesis nula. (Para más información sobre el uso de los test de permutación, ver Good (1999) y Todman & Dugard, (2001).)

Este procedimiento fue usado con los datos de este estudio para (1) evaluar si existía una diferencia entre las tres tareas (A/rampas, B/colisiones y C/catapultas); y (2) para evaluar si existía una diferencia en la dificultad de las seis posibles posiciones del objetivo. Todos los análisis fueron realizados en Poptools (Hood, 2008).

Para determinar las diferencias entre las tareas, tres diferentes criterios fueron definidos: 1) El nivel medio de experimentación (que indicaba el desempeño general), 2) el ancho de banda del funcionamiento de la experimentación (indicando la variabilidad dentro de cada sesión), y 3) el número de intentos antes de alcanzar del objetivo (indicando la velocidad de aprendizaje). Después de esto, un modelo de re-muestreo fue formulado por medio de la definición de lo que debía ser re-muestreado bajo la hipótesis nula.

En este caso, la hipótesis nula consistió en una distribución aleatoria de los datos sobre las tareas (de esta manera, todos los valores A, B y C fueron sometidos a un tratamiento aleatorio).

Debido a que hubo tanto tendencias de incremento como de decremento en los datos, en primer lugar se tuvo que eliminar la tendencia de los datos —de lo contrario, los datos permutados habrían sido demasiado disimilares a los datos re-muestreados a priori— (para una discusión general acerca de la eliminación de la tendencia de los datos, ver Van Geert & Van Dijk, 2002). Con base en lo anterior, los análisis fueron basados en los residuos re-muestreados superpuestos sobre tendencias lineales. Como tercer paso, un Análisis Monte Carlo (uno por cada niño) fue realizado con 5000 pasos de simulación.

El resultado muestra la probabilidad de que los valores (medios, ancho de banda, curva dentro de las sesiones e intentos) que fueron empíricamente observados sean el resultado de una distribución aleatoria de las tareas A, B y C. Solamente si la probabilidad es pequeña (por debajo de 5%), se rehúsa la hipótesis y se concluye que la diferencia entre las tareas es genuina.

Un segundo análisis de Monte Carlo fue realizado para evaluar las diferencias entre las posiciones objetivo. Esto se realizó por medio de la comparación de la suma de todos los índices de error de las diferentes posiciones. El análisis estuvo basado en la hipótesis nula de que existía una distribución simétrica en lo que concierne a la dificultad de las seis posiciones basadas en las probabilidades (es decir: la probabilidad de una combinación aleatoria de las variables llevaba a alcanzar el objetivo). Bajo esta hipótesis nula, la posición tres y la cuatro eran igualmente difíciles (aproximadamente un 28% en ambos casos; ver tabla 4).

Lo mismo aplica para las posiciones 2 y 5 (la probabilidad a priori es del 17%) y 1 y 6 (la probabilidad a priori es del 6%). Se computó la ratio de errores de la posición 1 sobre 6, de la posición 2 sobre 5, y de la posición 3 sobre 4. Si estas ratios eran iguales o cercanas a 1, la distribución de errores era (en términos

gruesos) simétrica. Si los valores diferían significativamente a partir de 1, era asimétrica.

En el análisis de Monte Carlo los datos fueron combinados de nuevo (sin reemplazos) entre las posiciones, y posteriormente fueron comparados los resultados con los índices de error empíricos de las seis posiciones.

A continuación se computó de nuevo una ratio de las posiciones 1 sobre 6, 2 sobre 5 y 3 sobre 4, sobre los datos re combinados, y estos fueron tomados como criterios de evaluación.

Después de recombinar los datos 5000 veces se calculó la frecuencia en que los valores empíricos fueron replicados por los datos re combinados, y los resultados se transformaron en un valor P.

4 Resultados

4.1 Trayectorias individuales de niveles de experimentación

A continuación se presentan los datos correspondientes a las trayectorias de 4 niños (Mariana, Juan, Samuel y Jerónimo) entre los 5 y los 5.11 años de edad. La figura 1 corresponde a la aplicación de la técnica de alisamiento de Loess (Loess smooth), a partir de la cual se establecen las tendencias generales.

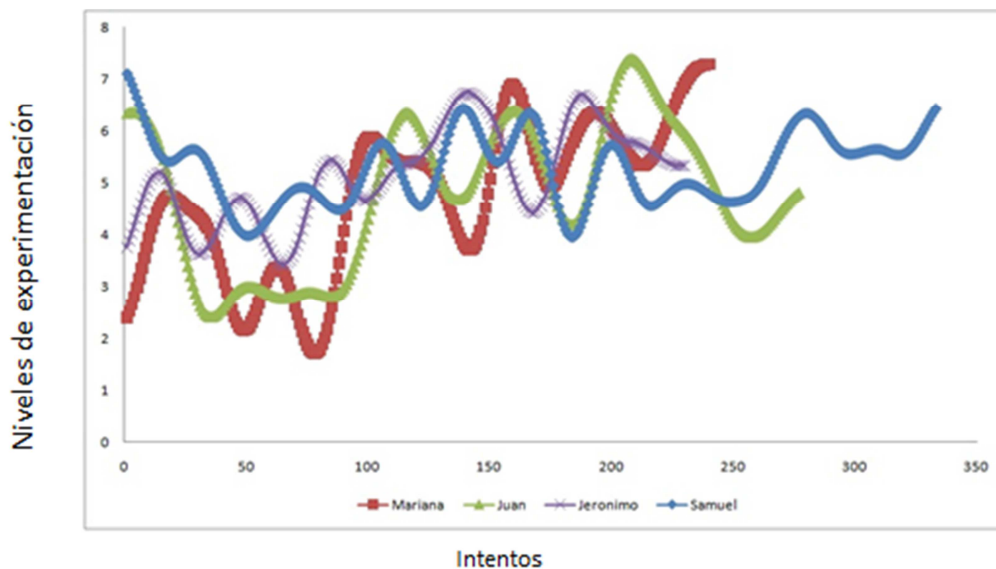


Figura 4. Loess smooth. Trayectorias generales de experimentación (Mariana, Juan, Jerónimo, Samuel).

Al examinar las trayectorias de los cuatro sujetos obtenidas a partir del tratamiento de los datos brutos por medio de la técnica de alisamiento de Loess, se observa cierta heterogeneidad en las trayectorias de desempeño inter e intra-individuales. Algunas de ellas son más largas, tal y como ocurre con las de Juan y Samuel, lo que indica la existencia de una mayor cantidad de intentos para resolver la tarea. A ello se suma el hecho de que también se observan diferentes puntos de inicio.

A pesar de estas diferencias es posible, no obstante, plantear ciertas regularidades, sobre todo en lo que concierne a los casos de Mariana, Juan y Jerónimo, quienes muestran, del punto 0 al 100 oscilaciones en los niveles bajos y medios de la escala de desempeño (entre el rango de 2 a 5 en el eje vertical).

Dichas oscilaciones varían en intensidad y rango, dependiendo de cada uno de los niños. No obstante, a partir del punto 100, hay un cambio en el espacio de oscilación, el cual empieza a ocurrir en los rangos medios y altos de las puntuaciones.

Es importante señalar que, pese a que las oscilaciones se mantienen constantes a lo largo de todo el tiempo, esos cambios en el espacio, donde el desempeño oscila, son similares para los casos de Mariana, Juan y Jerónimo. Esta coincidencia en la tendencia de oscilación de los tres niños cambia a partir del punto 200, donde el desempeño de Juan se descende (debido a su ejecución de las últimas sesiones. Esto se desarrollará más adelante en el texto). Por otro lado, las trayectorias de Jerónimo y Mariana confluyen poco después del punto 200, lo que contrasta significativamente con la extensión (indicador de desempeño: a menores intentos, el desempeño es más regulado) del de Samuel. Las oscilaciones de Samuel a lo largo de toda la trayectoria no describen un patrón semejante al de los otros tres niños; y pese a que se evidencian algunas transformaciones entre el punto 100 y 200, en los que la trayectoria oscila en puntos medios y altos, esta tendencia no se mantiene, y se caracteriza por varios valles que van hasta el final de la trayectoria. Esto ilustra una fuerte presencia de variabilidad, y un desempeño bastante irregular, lo que se corrobora con la extensión misma de la trayectoria, que va más allá del punto 300.

Por último, es importante señalar que el alisamiento de Loess sólo recoge las tendencias de las trayectorias, y es necesaria la contrastación de éstas con las trayectorias brutas de desempeño. A continuación, se presentan dichas trayectorias, a partir de la aplicación individual de la técnica de Loess para cada uno de los niños.

Síntesis de las trayectorias generales

A propósito de las trayectorias generales, los datos permiten afirmar que los cuatro niños, en el nivel macro, dieron muestra de una tendencia hacia desempeños más altos conforme avanzaban las sesiones. Sin embargo se observa, en el nivel

micro, que esta tendencia no es lineal. Los patrones que describen las trayectorias por medio de las cuales se constituye, presentan diferencias cualitativas. Dichas diferencias pueden aparecer bajo la forma de un incremento caracterizado por cambios abruptos, o global, o de oscilaciones caracterizadas por retrocesos. Esta situación se encuentra complementada por un alto grado de variabilidad en la escala de tiempo corto. El itinerario del desempeño en la resolución de problema no arroja un mejoramiento constante a lo largo del tiempo, sino que está marcado por múltiples fluctuaciones entre los distintos momentos en que se administró la misma tarea. La heterogeneidad del itinerario indica un proceso de regulación por parte de los niños, el cual va de la mano con un grado alto de acciones orientadas a la exploración de la estructura del problema. Mientras esto ocurre, su eficacia en la generación de soluciones presenta un incremento.

4.2 Trayectorias individuales de desempeño

Las figuras 2 a 17 muestran las trayectorias generales (los datos en bruto, y una línea de tendencia Loess) de los niveles de experimentación de cuatro niños a lo largo de todo el período de mediciones. Estos datos son presentados en cuatro ventanas de tiempo (la primera cubre las primeras tres sesiones, la segunda cubre el segundo grupo de tres sesiones, etcétera). Las sesiones están separadas por un pequeño espacio. La inspección visual revela un alto grado de variabilidad en, y a través de todas las sesiones. No obstante, algunos patrones globales pueden ser identificados, incluyendo una tendencia al incremento/crecimiento, relacionada con el desempeño en la resolución de problema a lo largo del tiempo. A continuación se presenta la descripción, para cada niño participante, de dichas trayectorias generales. Al final de cada descripción aparecen las figuras correspondientes.

Mariana

Las primeras tres sesiones de Mariana (figura 2) se caracterizan por ser sesiones largas, con un considerable número de intentos. En las sesiones dos y tres se observan algunas concentraciones (en lo que concierne a los puntajes de datos brutos) en el puntaje uno (1); esto indica la presencia de repeticiones en los intentos. Dichas concentraciones no son tan marcadas en el caso de la sesión 1, tarea A.

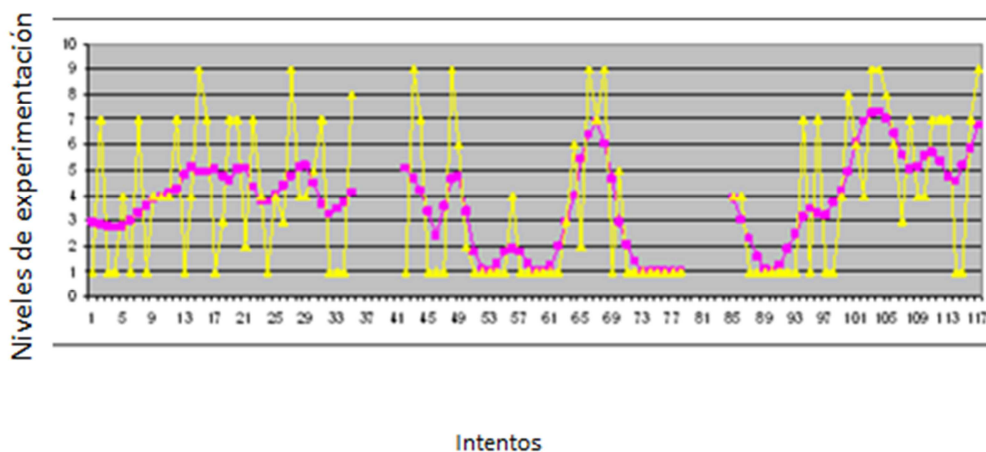


Figura 5. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Mariana. Sesión 1 a 3

Las trayectorias que arrojan las tendencias de Loess presentan bastante irregularidad y tienden a mantenerse sobre puntajes bajos e intermedios. Las tendencias de las trayectorias son ascendentes sólo en un tramo de la sesión 2, tarea B, y en la segunda mitad de la sesión 3, tarea C.

En las siguientes tres sesiones (figura 3) la tendencia antes referida sólo se mantiene para la sesión 5, tarea B; mientras que para las sesiones 4 y 6, tareas A y C respectivamente, los números de intentos se reducen significativamente. En estas dos últimas sesiones las trayectorias de Loess marcan tendencias con

puntajes más altos que en las sesiones 1y 3, en las que se presentaron las mismas tareas.

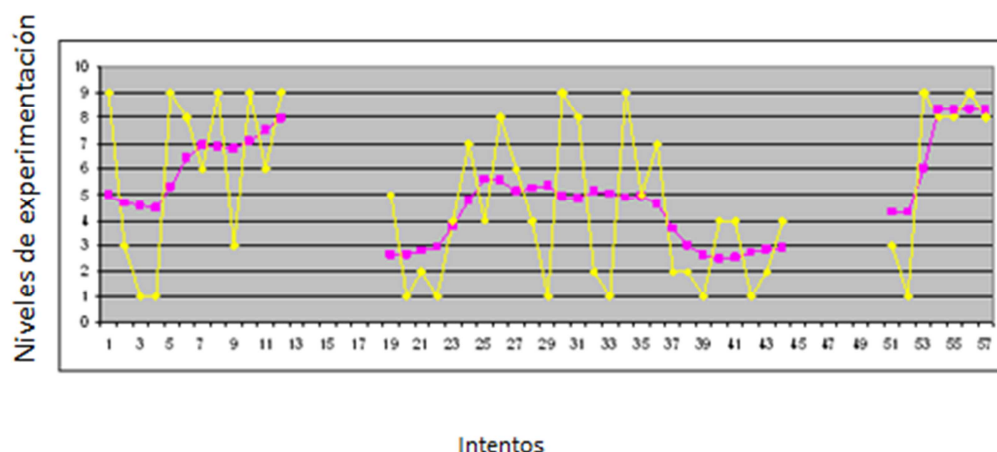


Figura 6. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Mariana. Sesiones 4 a 6.

En la sesión 5 (tarea B) se observa una trayectoria larga. No obstante, en este caso no se vuelven a apreciar acumulaciones en el nivel 1 que caracterizaron a la sesión 2 de la misma tarea. En lo que respecta a la trayectoria de Loess, ésta se mantiene en una tendencia de rangos bajos y medios.

En las siguientes tres sesiones (figura 4) la tendencia se mantiene, siendo las sesiones 7 y 9 (tareas A y C, respectivamente) mucho más cortas en términos de intentos que la sesión 8 (tarea B). De hecho las trayectorias Loess para estas dos sesiones tienden a ubicarse en el rango correspondiente a niveles más altos de desempeño.

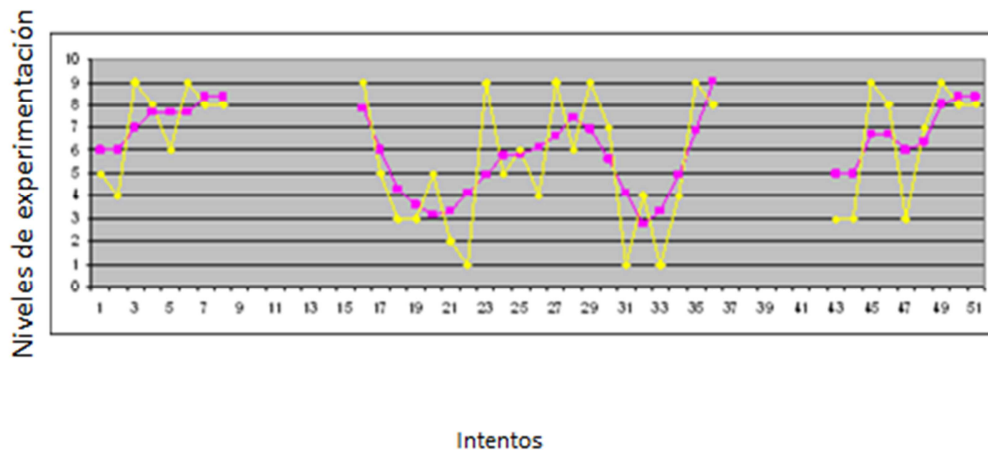


Figura 7. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Mariana. Sesiones 7 a 9

En la sesión 8 (tarea B), que es más extensa en número de intentos que las sesiones adyacentes con otras tareas, es también ligeramente más corta que la sesión precedente con la misma tarea. La trayectoria Loess muestra un desempeño en niveles superiores que los de la anterior sesión en la que fue aplicada la misma tarea.

Las últimas tres sesiones (figura 5) de Mariana muestran trayectorias semejantes entre sí. En este caso es significativo el hecho de que durante las sesiones 10 y 12 (tareas A y C, respectivamente) aumente el número de intentos en comparación con las sesiones 7 y 9. Esta tendencia es más fuerte para la sesión 10 (tarea A), mientras que la sesión 11 (tarea B) continúa mostrando tendencia a acortarse.

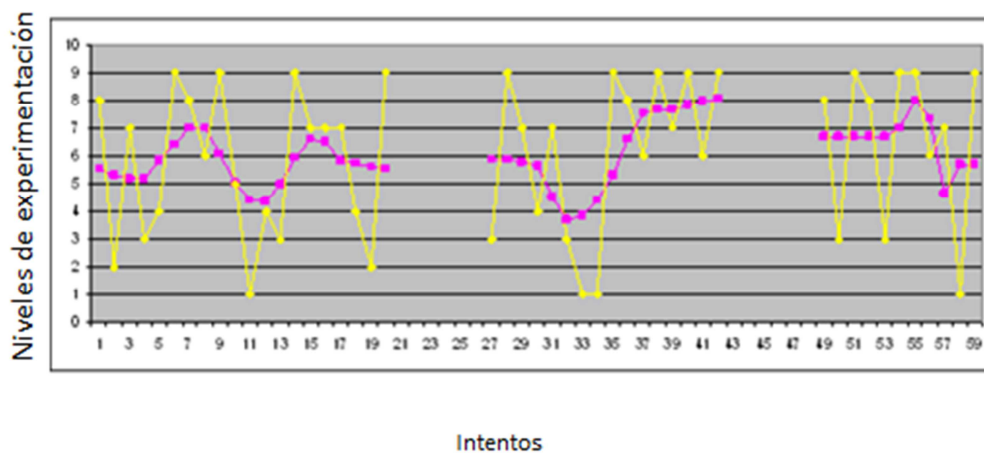


Figura 8. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Mariana. Sesiones 10 a 12.

Juan

En las primeras tres sesiones (figura 6) de Juan se observa un contraste entre la sesión uno (tarea A) y las sesiones dos y tres (tareas B y C, respectivamente). Estas dos últimas son significativamente más largas en lo que respecta a número de intentos. Dicha tendencia también caracteriza a las trayectorias Loess, dado que en la sesión uno (tarea A), la trayectoria tiende a moverse entre niveles medios y altos, mientras que en las tareas B y C se evidencian trayectorias Loess caracterizadas por la presencia de valles, y por moverse entre rangos de desempeño bajos.

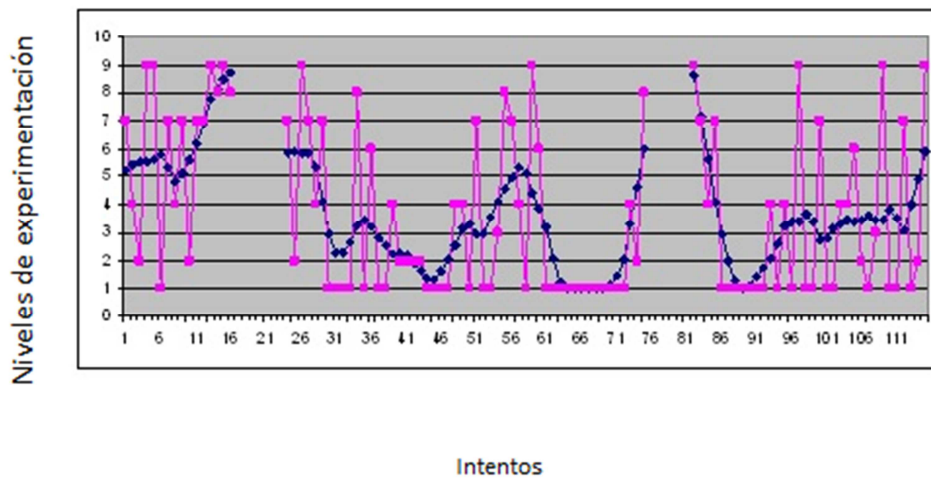


Figura 9. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Juan. Sesiones 1 a 3.

En las siguientes tres sesiones (figura 7) se evidencia una tendencia a la estabilización, marcada por una reducción significativa en el número de intentos de las sesiones 5 y 6 (tareas B y C, respectivamente); mientras que en la sesión 4 (tarea A) se observa una tendencia muy similar a la de la sesión 1. En lo que respecta a las trayectorias Loess, la sesión 4 es muy parecida a la anterior ocasión en la que se aplicó la misma tarea, excepto por la presencia de algunos descensos.

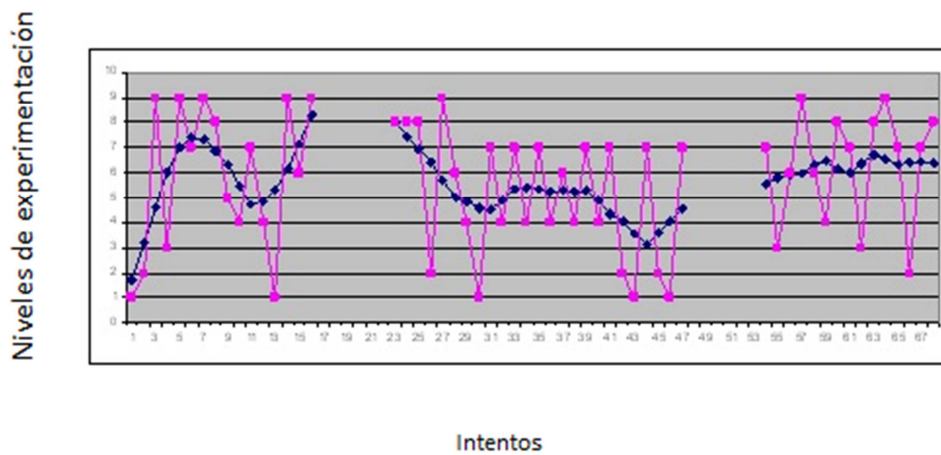


Figura 10. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Juan. Sesiones 4 a 6.

Las sesiones 5 y 6 tienden a estabilizarse sobre rangos de desempeño medios, y más o menos estables, sin presentar los fuertes valles descritos en las sesiones anteriores.

Durante las sesiones 7, 8 y 9, (figura 8) se encuentra que la sesión 9 (tarea C) muestra un decremento significativo en el número de intentos, mientras que la sesión 7 (tarea A) y la sesión 8 (tarea B, que presenta el mayor número de intentos) se mantienen estables en contraste con sus predecesoras.

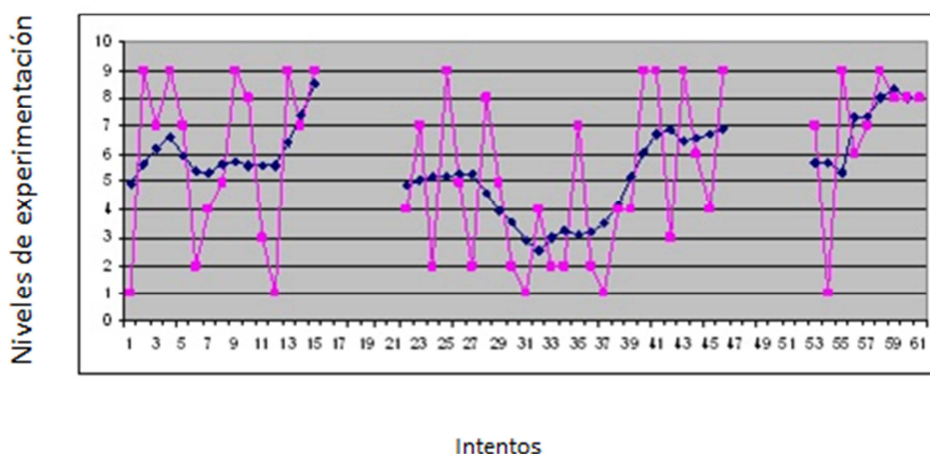


Figura 11. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Juan. Sesiones 7 a 9..

En las sesiones 7 y 8 las trayectorias Loess se mantienen más o menos estables, aunque es importante señalar la presencia de un valle en la mitad de la sesión 8. La trayectoria Loess correspondiente a la sesión 9 se caracteriza porque, de modo coherente con la reducción del número de intentos, ésta muestra una tendencia ascendente en rangos de desempeño altos.

En lo que concierne a las últimas tres sesiones (figura 9) se observa que, la sesión 10 (tarea A) se caracteriza por una reducción importante en el número de intentos, mientras que la sesión 11 (tarea B) se mantiene estable, y la sesión 12 (tarea C)

se alarga significativamente. La trayectoria Loess es estable en el caso de las sesiones 10 y 11, y aparece como significativamente irregular en la sesión 12.

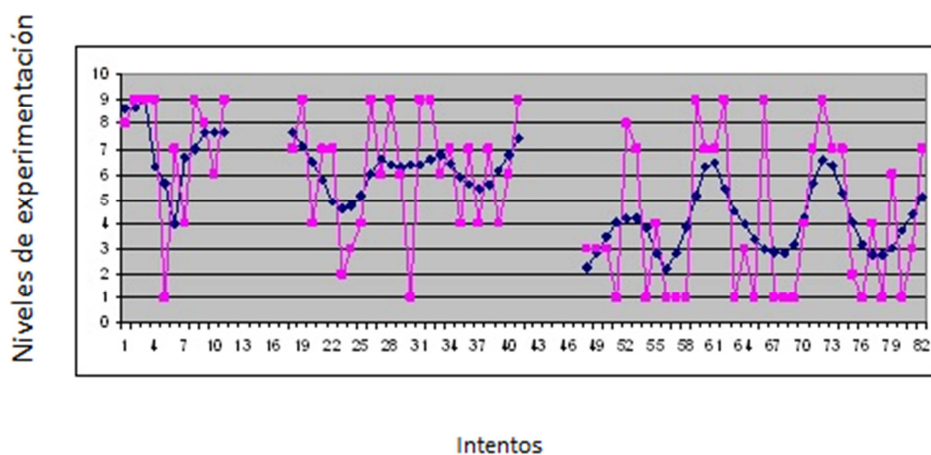


Figura 12. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Juan. Sesiones 10 a 12.

Jerónimo

En las primeras tres sesiones (figura 10) de Jerónimo se aprecian trayectorias largas (con muchos intentos) en las sesiones 2 y 3 (tareas B y C, respectivamente) en lo que respecta al número de intentos. Por contraste con las anteriores, la sesión 1 (tarea A) presenta una trayectoria más corta, debida a un menor número de intentos.

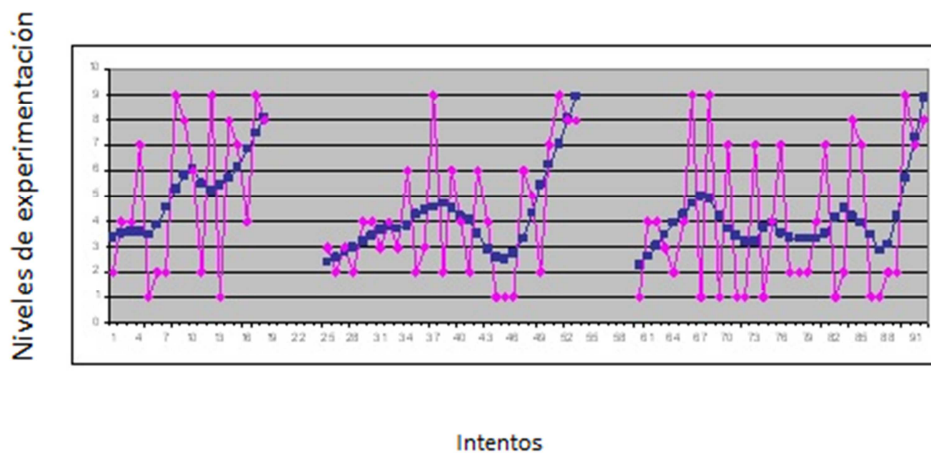


Figura 13. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Jerónimo. Sesiones 1 a 3.

Complementariamente se aprecia una tendencia, en la sesión 1 a la oscilación entre rangos altos y bajos de desempeño, con algunos puntajes en niveles medios; mientras que en la sesión 2 es mayor la concentración en rangos medios y bajos, con un valle hacia el final de la sesión al nivel del puntaje uno (1). En la sesión 3, es más marcada la tendencia hacia puntajes altos y bajos, pero también existe una presencia significativa de puntajes medios.

Las trayectorias Loess de estas tres sesiones describen, en términos generales, una tendencia ligeramente similar, caracterizada por el incremento en los rangos de desempeño hacia el final de cada sesión. La sesión uno es la que presenta el incremento más gradual y estable, mientras que las sesiones 2 y 3 se caracterizan por la presencia de valles y decrementos.

En el caso de la sesión 2, el decremento ocurre después de la mitad, y a continuación aparece un incremento progresivo. En la sesión 3, la trayectoria es más irregular, y oscila durante buena parte de su despliegue entre puntos que están ligeramente por encima y por debajo de los desempeños medios.

En el grupo siguiente (sesiones 4, 5 y 6; tareas A, B y C, respectivamente) se evidencian algunos cambios importantes (figura 11). En primer lugar, la amplitud

de la sesión 4 es mucho mayor que la de la sesión 1, debido a que en esta ocasión fue necesario un mayor número de intentos, los cuales tienden a ubicarse, no obstante, nuevamente entre rangos altos y bajos de desempeño, con algunos puntos en niveles medios, y un valle en el puntaje 2 muy cerca de la mitad.

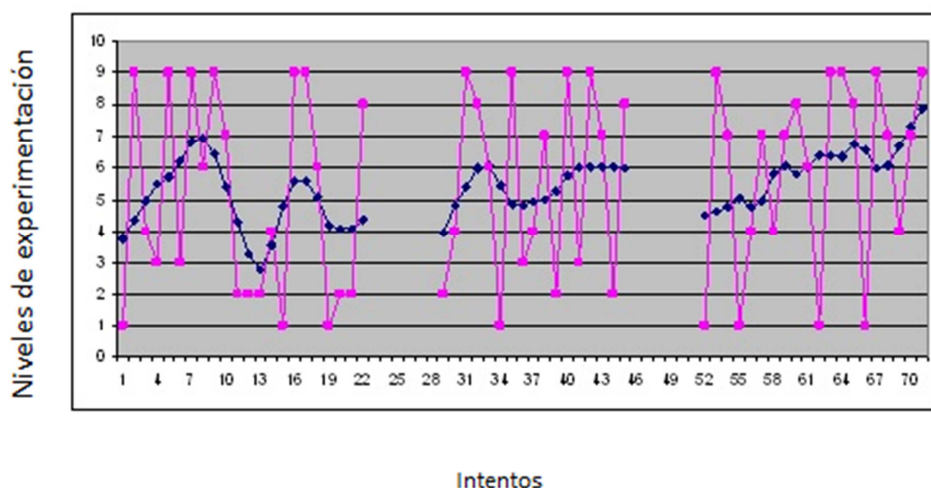


Figura 14. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Jerónimo. Sesiones 4 a 6.

La sesión 5 se caracteriza por una disminución en el número de intentos al ser comparada con la ocasión anterior en la que se aplicó la misma tarea; y, pese a que sigue presentándose la tendencia a la ubicación entre desempeños bajos y altos, aumenta el número de desempeños cercanos a un desempeño medio.

La sesión 6 también registra una ligera disminución en el número de intentos en relación con su predecesora (sesión 3, tarea B), y es, en términos generales, similar a la sesión 5, con una mayor presencia de puntajes en rangos altos de desempeño.

En lo que concierne a las trayectorias Loess se observa que la sesión 4 es más irregular que la sesión 1, y no describe una tendencia de incremento acentuada, sino, por el contrario, un incremento muy sutil en contraste con el punto de partida, y que resulta de un itinerario marcado por un alto grado de variabilidad.

La trayectoria de Loess para la sesión 5, aparece como más estable, en contraste con la sesión 2, y tiende a desplegarse en el espacio de niveles medios de desempeño, con un ligero incremento al final respecto al punto de partida.

Por último, la trayectoria Loess de la sesión 6 evidencia un incremento en el desempeño en relación con la sesión 3, el cual es escalonado a partir de rangos medios de desempeño y no presenta caídas abruptas.

En el grupo de sesiones que va de la 7 a la 9 (figura 12), se aprecia, por contraste con la sesión 7, una nueva disminución del número de intentos, con una extensión similar a la de la sesión 1 y menor que la de la sesión 4; y se observa una tendencia hacia puntajes ubicados en niveles altos de desempeño, con una pequeña caída hacia niveles bajos después de la mitad, que es seguida por un incremento que replica los rangos altos del comienzo de la sesión.

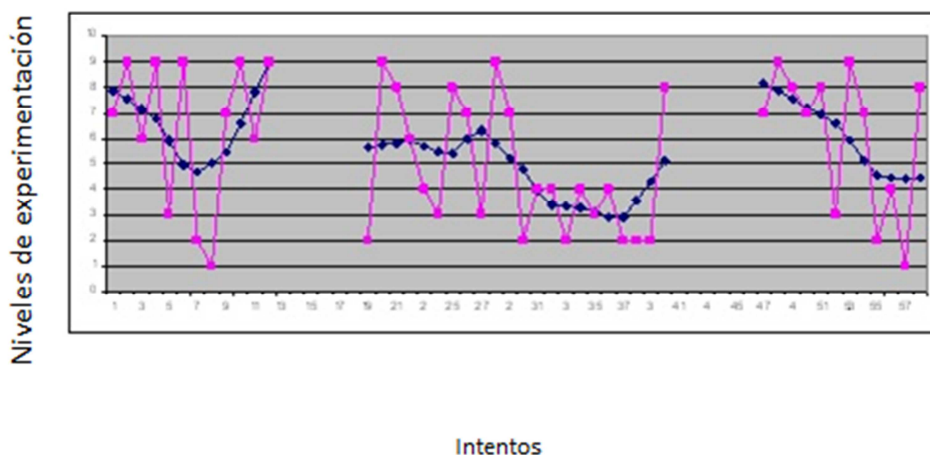


Figura 15. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Jerónimo. Sesiones 7 a 9.

La sesión 8 se caracteriza por un gran número de intentos en comparación con sus precedentes. Durante esta trayectoria, se aprecia una mayor dispersión en los puntajes, sin que deje de manifestarse una ligera tendencia hacia rangos de desempeño altos y bajos, siendo estos últimos los que más se hacen presentes.

De hecho, hacia el final de la sesión se presenta una concentración significativa en el puntaje dos.

La sesión 9, presenta un menor número de intentos en comparación con las sesiones 6 y 3, y esto se complementa con una tendencia hacia rangos altos de desempeño. Sin embargo esta tendencia está acompañada, hacia el final de la trayectoria, por una significativa oscilación hacia puntajes en rangos bajos de desempeño, que son seguidos por un incremento importante del nivel de desempeño en el último intento.

En lo que concierne a las trayectorias Loess, la sesión 7 se caracteriza por un ligero incremento al final en relación con el punto de partida, el cual aparece después de un valle ubicado en la zona de rangos de desempeño medios.

En este mismo sentido, la sesión 8 da muestras de una trayectoria ubicada en rangos medios y bajos de desempeño, con una caída considerable y estable después de la mitad de la sesión, que genera un valle significativo en rangos bajos de desempeño. Se observa luego un punto de cierre que se ubica por debajo del rango de desempeño del punto de inicio. La sesión 9 se caracteriza por una tendencia de decremento gradual que se estabiliza hacia el final en rangos medios de desempeño.

En el último grupo de sesiones (10, 11 y 12; tareas A, B y C, respectivamente) se observa (figura 13), para el caso de la sesión 10, una tendencia, en lo que respecta al número de intentos, similar a la de la sesión 7, con la mayor parte de los puntajes ubicados en rangos medios-altos y altos de desempeño.

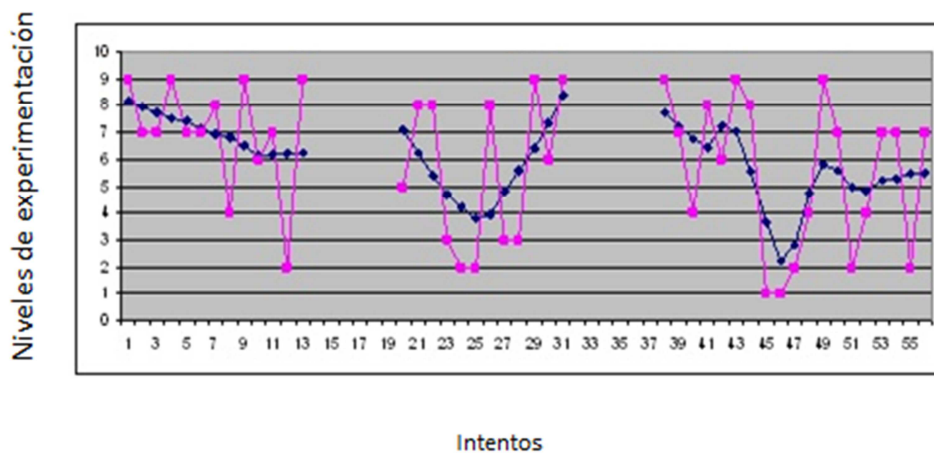


Figura 16. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Jerónimo. Sesiones 10 a 12.

En la sesión 11 se evidencia una disminución significativa del número de intentos en contraste con la sesión 8, y se mantiene la tendencia, establecida en la sesión 10, hacia puntajes que se alejan de los más bajos, aunque en este caso hay una mayor presencia de rangos bajos de desempeño.

En la sesión 12, el número de intentos es significativamente mayor que en la sesión 9, y vuelven a aparecer caídas hacia los rangos más bajos de desempeño, aunque existe una tendencia hacia los puntajes altos.

En lo que concierne a las trayectorias Loess para este grupo de sesiones se evidencia, en el caso de la sesión 10, una trayectoria que presenta una tendencia gradual de decremento, el cual se estabiliza hacia el final en rangos medios-altos de desempeño.

En la sesión 11 la trayectoria Loess describe una forma de V, caracterizada por un decremento gradual hasta rangos medio-bajos de desempeño, al que sigue un incremento igualmente gradual, al final del cual se observa un ligero aumento en los rangos de desempeño (altos) con respecto al punto de partida.

Por último, en la sesión 12 se observa una trayectoria marcadamente irregular al ser comparada con la sesión 9, caracterizada por una tendencia al decremento en

los rangos de desempeño, en la que se presenta una caída abrupta hacia la mitad de la sesión. Esta caída es seguida de un ligero incremento, que se estabiliza en rangos medios de desempeño hacia el final, ubicándose ligeramente por debajo de los rangos medios-altos de desempeño del comienzo de la sesión.

Samuel

La sesión 1 (Figura 14), tarea A, se diferencia de las sesiones 2 y 3 (tareas B y C, respectivamente) en la medida en que estas dos últimas son mucho más extensas y presentan un número mayor de intentos.

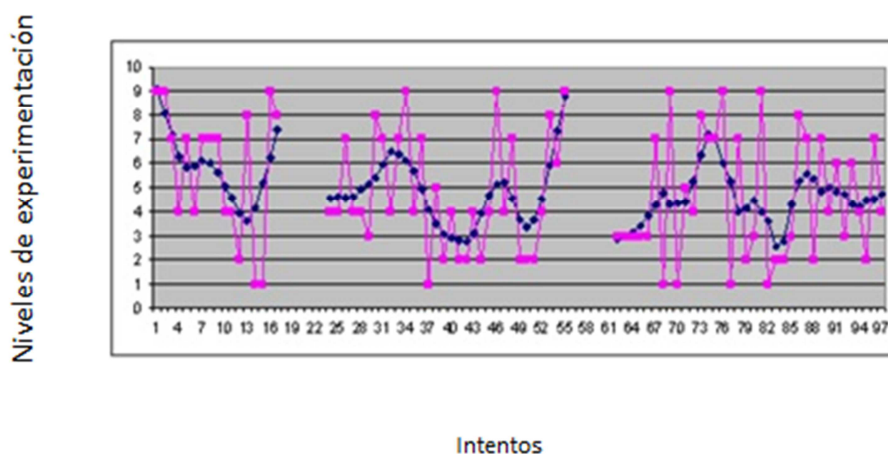


Figura 17. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Samuel. Sesiones 1 a 3.

En lo que concierne a las trayectorias de Loess, las tres trayectorias muestran semejanzas en lo que se refiere a la presencia de valles pronunciados, que hacen que la trayectoria se mueva entre rangos medios y bajos.

En el caso de las siguientes tres sesiones (4 a 6) (figura 15) se observa que la sesión 4 (tarea A) se alarga de manera significativa en comparación con la sesión 1, oscilando entre puntajes extremos (altos y bajos). Esta oscilación también es evidente para las sesiones 5 y 6, las cuales se acortan en el número de intentos.

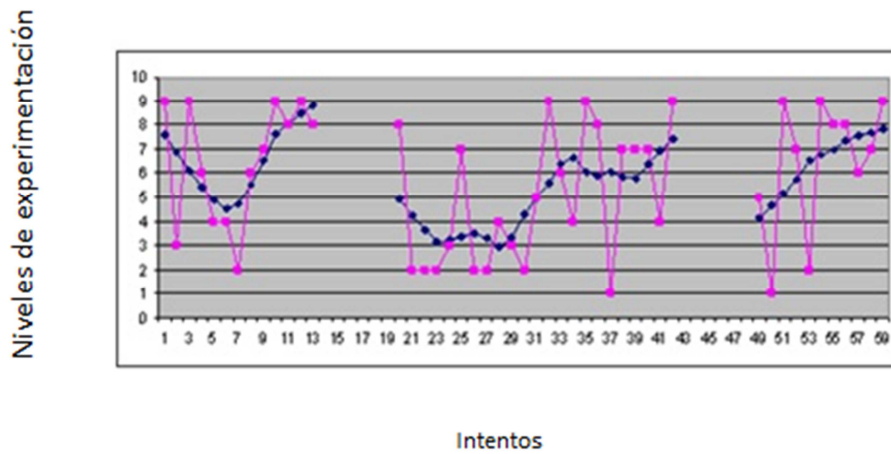


Figura 18. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Samuel. Sesiones 4 a 6.

En lo que concierne a las trayectorias Loess la presencia de valles se mantiene en el caso de la sesión 4, mientras que en las otras dos sesiones existe una tendencia a la estabilización en rangos medios.

Para las sesiones 7,8 y 9 (tareas A, B y C, respectivamente), se observa (figura 16) un aumento en el número de intentos de la sesión 7 en contraste con la sesión 4. En la sesión 8, por el contrario, existe un decremento en el número de intentos respecto a la sesión 5. Y, por último, en la sesión 9, se evidencia un significativo aumento en el número de intentos en relación con la sesión 6.

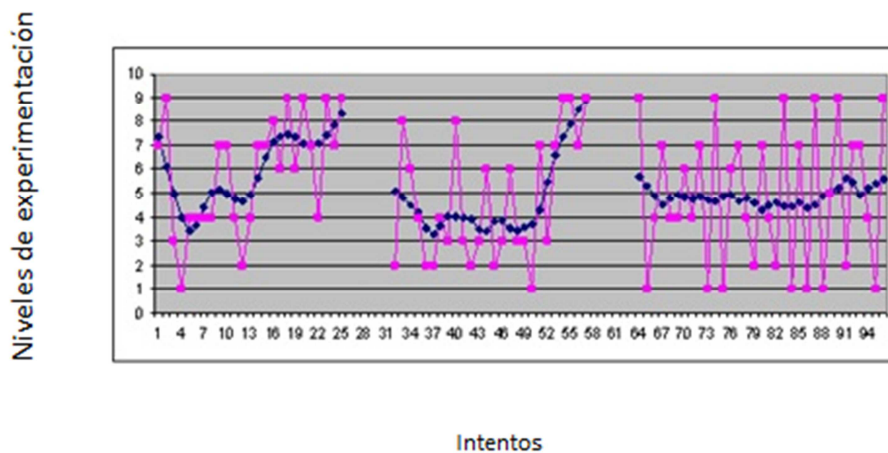


Figura 19. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Samuel. Sesiones 7 a 9

En la sesiones 8 y 9 se observa, además, tendencia a la oscilación entre puntajes altos y bajos, mientras que en la sesión 7 es mayor la presencia de puntajes medios-bajos y altos.

En lo que concierne a las trayectorias Loess pese a que la trayectoria para la sesión 7 (tarea A) (figura 17) se mueve rangos superiores a los de la sesión 4, en este caso se presenta también un marcado descenso hacia la mitad de la sesión.

Las trayectorias de Loess para las sesiones 8 y 9 se caracterizan por presentar una fuerte caída hacia el final. No obstante, la trayectoria de la sesión 9 muestra un comienzo de sesión en niveles más altos que la sesión 8, lo que es consistente con el hecho de que la primera es más corta que la segunda.

En las últimas tres sesiones (10, 11 y 12; tareas A, B y C, respectivamente), se observa que la sesión 10 presenta una trayectoria estable en términos generales, la cual es muy similar a la de la sesión 7.

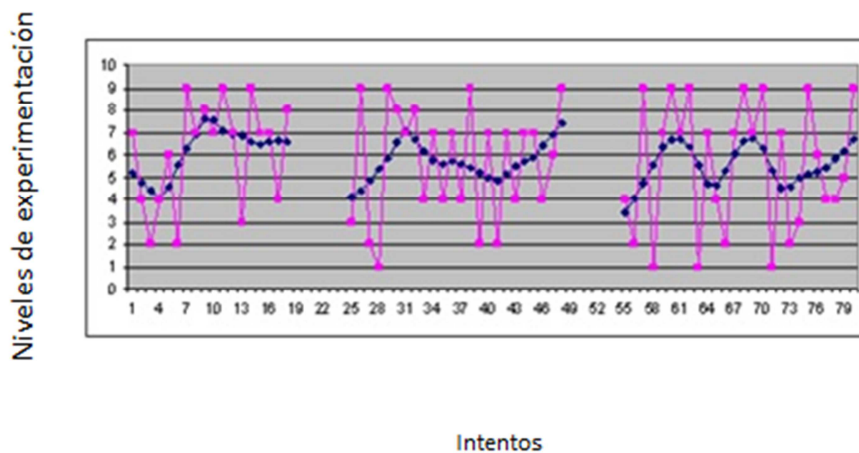


Figura 20. Niveles de trayectorias generales de experimentación. Samuel. Sesiones 10 a 12.

Por otro lado, la sesión 11 muestra una marcada reducción en el número de intentos, la cual se caracteriza por descensos abruptos en los niveles de desempeño que marcan caídas en la trayectoria hacia rangos bajos.

Finalmente la sesión 12 se caracteriza por un incremento en el número de intentos, que al igual que ocurre en las dos sesiones anteriores, está marcado por la presencia de puntajes extremos en rangos bajos de desempeño.

En cuanto a la trayectoria Loess la sesión 10 se muestra bastante estable, mientras que la 11 y la 12 muestran descensos abruptos en la forma de valles en rangos bajos.

Para los casos de Mariana y Jerónimo puede ser observado un aumento consistente en la complejidad de los niveles de experimentación, el cual va de la mano con una reducción de niveles bajos de funcionamiento. Toda vez que los datos de Mariana sugieren un incremento caracterizado por cambios abruptos, un incremento más gradual puede ser observado en los datos de Jerónimo. Los otros dos casos (Juan y Samuel), muestran patrones diferentes. En el caso de Juan existe un patrón oscilante: se observa un nivel alto en la primera sesión, seguido por una caída en las sesiones dos y tres. Posteriormente, dos incrementos

caracterizados por cambios abruptos en niveles de experimentación fueron observados para las sesiones 4-5 y 8-9, los cuales fueron seguidos de caídas en las sesiones 5-6 y 11-12.

En el caso de Samuel, no existe una tendencia clara. Los niveles tienden a variar a través de las sesiones. El patrón general es marcadamente estacionario, con un significativo grado de variabilidad entre, y al interior de las sesiones. Solamente aparece un ligero incremento en el nivel de desempeño para la tarea A (Sesiones 1,4, 7 y 10). No obstante, la presencia de bajos niveles de funcionamiento de la experimentación es característica de la trayectoria entera.

4.3 Trayectorias de las medidas de tendencia central

La técnica de alisamiento Loess permitió capturar tendencias locales y obtener una impresión de la variabilidad local a lo largo de las trayectorias de los desempeños de los sujetos. En lo que concierne a la variabilidad en relación con el número de intentos se encontró una tendencia general a una reducción progresiva y ligeramente no lineal. Esta reducción es observada en todos los casos. Sin embargo, existen algunas diferencias entre los niños en el grado de pendiente que presenta este decremento. Por ejemplo, el decremento en Jerónimo es menos gradual que el de Mariana.

Sin embargo, algunos retrocesos pueden ser observados en algunas trayectorias, que son los que indican el grado de no linealidad del proceso. Ejemplos de estos retrocesos están presentes en las sesiones 4 y 8, seguidos de un decremento estable de este indicador (número de intentos). También hay un retroceso importante para la sesión 12 de Juan, el cual será abordado posteriormente.

4.3.1 Número de intentos

La tarea A (puntos 1, 4, 7 y 10 en la trayectoria) muestra un número más bajo de intentos al ser comparada con las otras dos (figura 18). Este número de intentos disminuye más marcadamente que en el caso de las tareas B (puntos 2, 5, 8 y 11)

y C (puntos 3, 6, 9 y 12). En las tareas B y C, el decremento en el número de intentos toma mucho más tiempo. La figura 18 ilustra estas dinámicas.

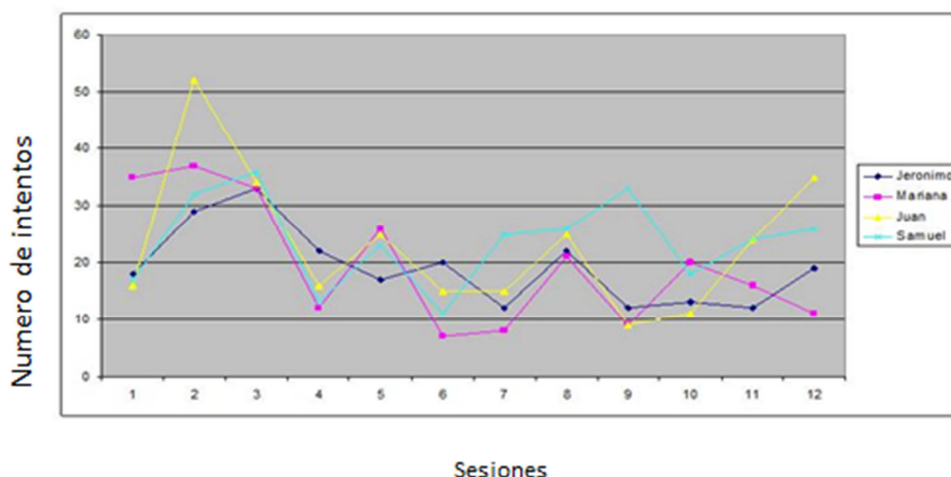


Figura 21. Número de intentos.

4.3.2 Promedios de niveles de experimentación

Tras la aplicación de la técnica de alisamiento de Loess se observa que todos los niños muestran un incremento general en su promedio de niveles de “funcionamiento de la experimentación”. Sin embargo, con base en una mirada general (ver fig. 19), el promedio de nivel de experimentación parece crecer más, y alcanzar estabilidad más rápidamente, en la tarea A (puntos 1, 4, 7 y 10 en la trayectoria) que en las otras dos. Se confirma, al mismo tiempo, que como lo mostraron los datos de la anterior parte del estudio, la tarea B aparece como la más difícil.

Los resultados muestran que la tarea C (puntos 3, 6, 9 y 12) no alcanza estabilidad tan rápido como la tarea A, pero tampoco tan lento como la tarea B (puntos 2, 5, 8 y 11). Esto se puede observar en la figura 19:

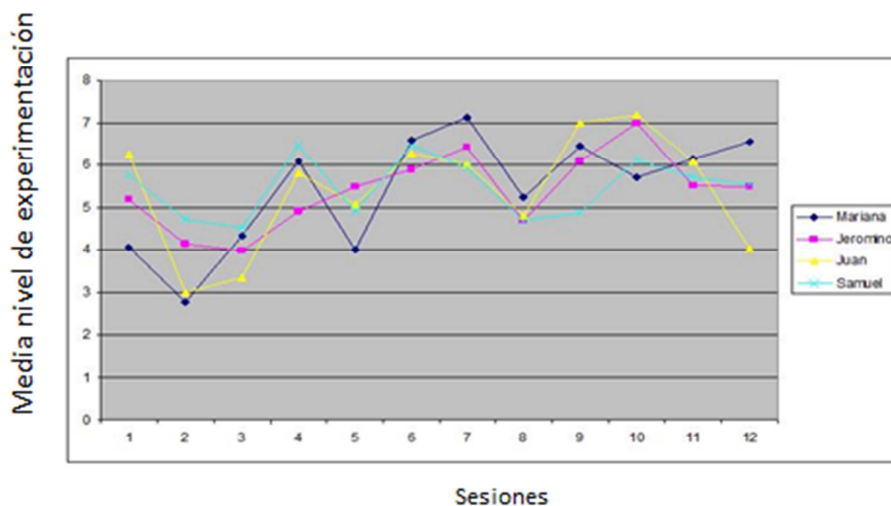


Figura 22. Nivel medio de experimentación para cada sesión

Los promedios de la tarea B toman más tiempo en presentar un incremento y en alcanzar los niveles de las otras dos. Existen ciertas recaídas que marcan diferencias individuales entre las tareas, como por ejemplo, el retroceso de Mariana durante la última sesión con la tarea A; el desempeño irregular de Jerónimo en la tarea C; el marcado decremento de Juan para la sesión 12; y los decrementos medios de Samuel para la tercera aplicación de las tres tareas.

4.4. Relación entre contenido y estructura de la tarea, y el desempeño de los niños

4.4.1 Comparación entre los tipos de tareas

La inspección visual de las trayectorias (ver fig. 18 y 19) sugiere la existencia de algunas diferencias claras entre las tres tareas, tal y como ha sido descrito en la

primera parte de esta sección de Resultados. Esta observación fue evaluada por medio de un análisis de Monte Carlo (tabla 5.). El análisis compara los valores críticos observados (medios, ancho de banda, e intentos) —en cada uno de los cuatro niños de manera individual— con los valores generados sobre la base de la hipótesis nula, correspondiente a la asunción de que las tareas A, B y C son similares.

En la tabla 5 se muestran los resultados de la comparación, por medio de la técnica de Montecarlo, entre las tres tareas:

	Intentos			Medio			Ancho de banda		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Samuel	73 (.004)	105 (.439)	131 (.005)	6,15 (0,009)	5,05 (0,053)	5,27 (0,189)	18.19 (.466)	19.43 (.099)	14.24 (.096)
Jerónimo	65 (.011)	100 (.077)	84 (.288)	5,91 (0,021)	5,06 (0,11)	5,39 (0,247)	15.15 (.061)	18.43 (.332)	19.22 (.143)
Mariana	60 (.216)	100 (.058)	75 (.241)	5,76 (0,072)	4,56 (0,03)	5,99 (0,254)	13.56 (.017)	19.66 (.398)	28.2 (.007)
Juan	58 (<.001)	126 (.352)	94 (.106)	6.32 (.02)	4.77 (.11)	5.18 (.24)	22.08 (.296)	17.28 (.227)	21.10 (.404)

Tabla 5. Resultados de los análisis de Monte Carlo concernientes a las diferencias entre tareas (valores-p entre paréntesis)

Los resultados muestran claras diferencias entre las tres tareas (ver tabla 5) lo que confirma la información obtenida en el capítulo dos. En el caso de Mariana, estos resultados muestran que la tarea B tiene un promedio significativamente menor en lo que respecta a nivel de desempeño ($p=.03$), y que requiere un número mayor de intentos ($p=0.058$), que el promedio de las tres tareas combinadas. Esto implica que la tarea B es más difícil para ella que las otras tareas. Los resultados también muestran que la tarea C tiene un ancho de banda mayor ($p=0.057$), y que la tarea A presenta un ancho de banda menor ($p=0.17$) que el promedio de las tres tareas.

Para los casos de Juan y Jerónimo, la tarea A es más fácil que la tarea B y que la C. En estos casos se presenta una media más alta de nivel de desempeño ($p=0.2$ y 0.021 respectivamente), y fueron necesarios muchos menos intentos para completar la tarea ($p < .001$ y $p= .011$, respectivamente). No se observaron diferencias entre los anchos de banda de las tres tareas.

Finalmente, los resultados de Samuel fueron, en cierta medida, más complejos. En este caso, la media de la tarea A fue mayor ($p= .009$), mientras que B fue mucho más bajo ($p= .053$). La tarea A también necesitó de menos intentos ($p= .004$), y la C de más intentos ($p= .005$), lo que implica que la tarea A era más fácil, y que B o C le resultaron más difíciles (dependiendo del criterio elegido). De nuevo, no se presentaron diferencias en lo que concierne al ancho de banda.

En síntesis, existen indicaciones robustas de que —para cada uno de los niños— los desempeños en las tareas A, B y C difieren, específicamente en la media del nivel de desempeño y el número de intentos que necesitaron para completar la tarea. En muchos casos, el desempeño en la tarea A fue mejor que en las otras tareas, mientras que en la mayor parte de los casos el desempeño en la tarea B fue el peor. En un caso (el de Mariana), el bajo desempeño estuvo asociado con un ancho de banda considerable de variabilidad del desempeño.

4.5 Trayectorias generales de índice de error

Las figuras 20 a 23 muestran las trayectorias individuales de los niños en lo que concierne al índice de error. A este respecto, algunos patrones generales pueden ser observados. Tanto para Mariana (ver fig. 23 como para Jerónimo (ver fig. 24, un claro decremento en el índice de error y su rango de variabilidad puede ser identificado después de las sesiones 4 y 5.

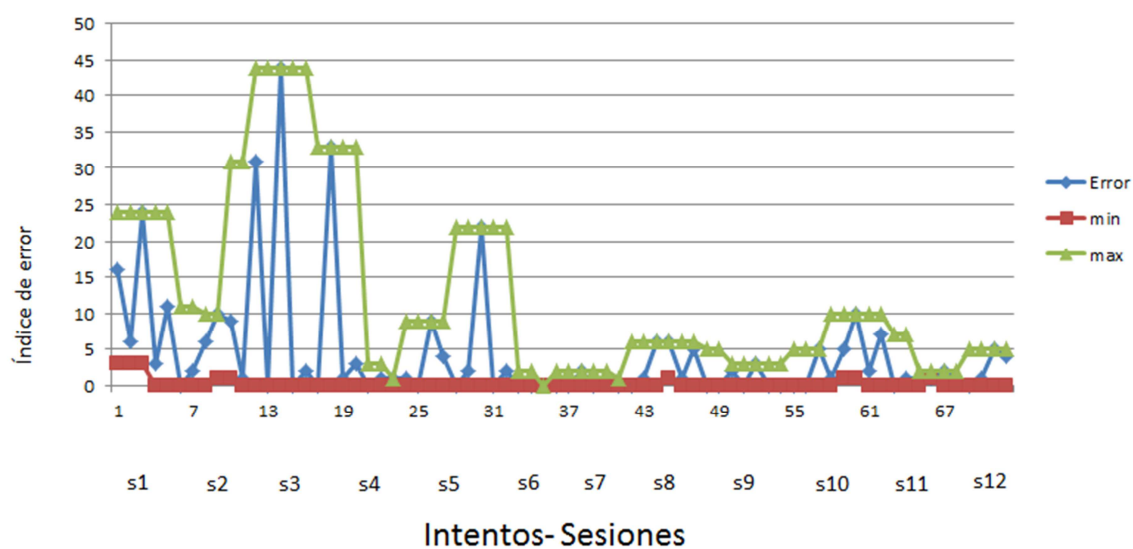


Figura 23. Rango de Variabilidad del índice de error (Mariana)

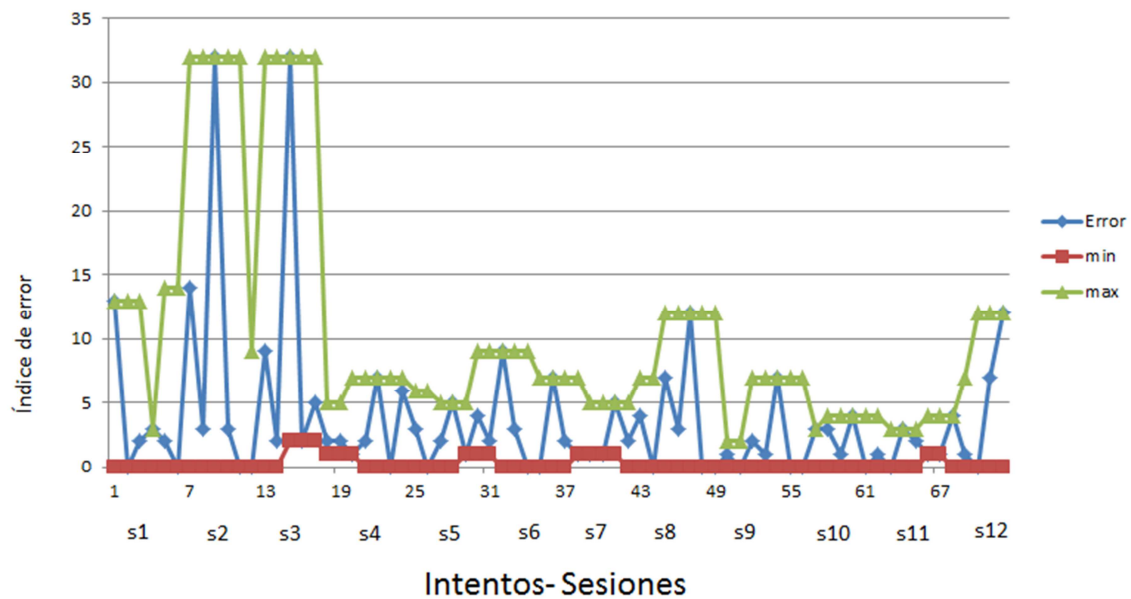


Figura 24. Rango de Variabilidad del índice de error (Jerónimo)

También están presentes altos valores para Mariana en la sesión 5, y uno más bajo para la sesión 10 (tarea A); y para Jerónimo en las sesiones 8 y 12. En los datos correspondientes a Juan, los picos son más comunes en la serie de tiempo completa, aunque parecen hacerse más prominentes después de las primeras cuatro sesiones. Este, que también es el caso para los datos de Jerónimo y de Samuel. Los rangos de variabilidad de Juan y Samuel se muestran en las figuras 25 y 26.

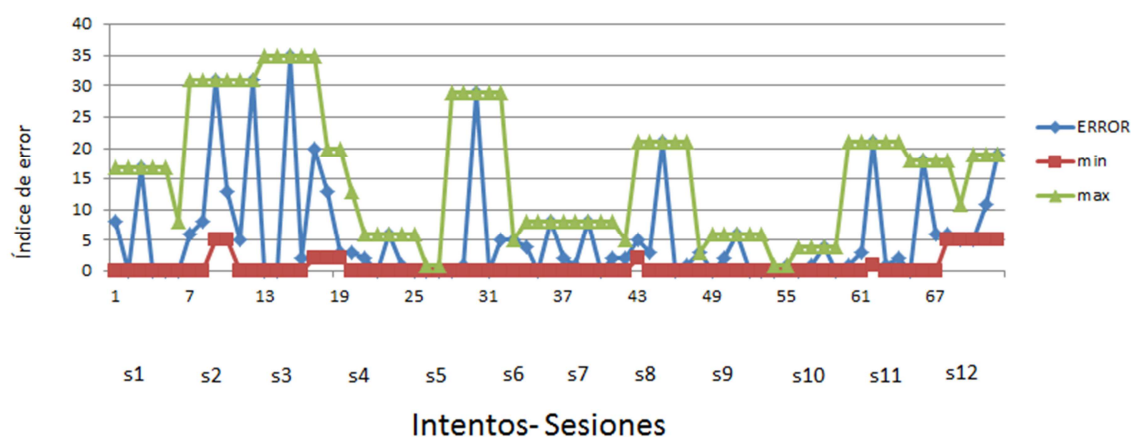


Figura 25. Rango de Variabilidad del índice de error (Juan)

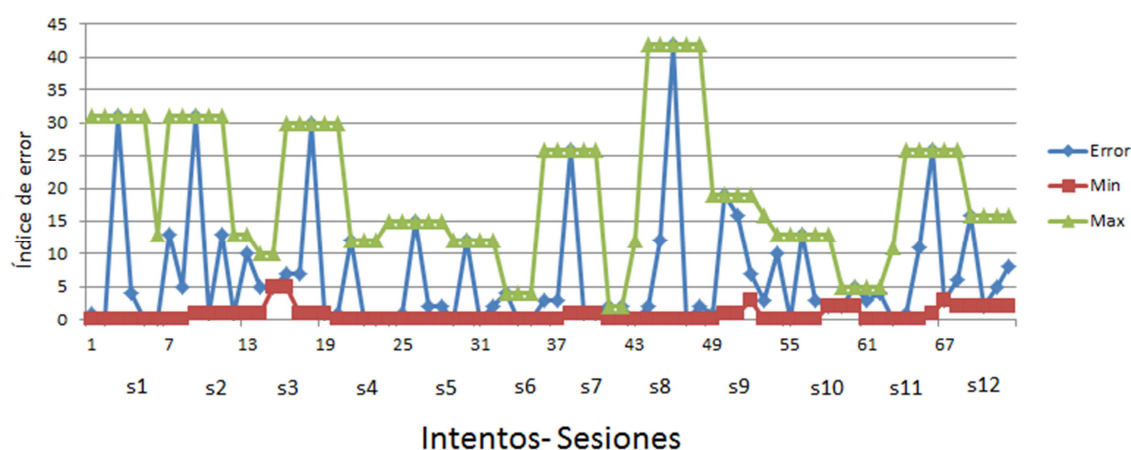


Figura 26. Rango de Variabilidad del índice de error (Samuel)

Para los casos de Juan, Jerónimo y Mariana, existe una tendencia común a lo largo de las primeras tres sesiones. La sesión 1 presenta un rango medio de índice de error, que es seguido por un incremento gradual en la sesión 2 y en la 3. Después de esto, se observa un decremento para todos los casos. Finalmente, para la trayectoria del índice de error de Samuel, no se puede describir una

tendencia clara, y se mantiene un amplio rango de variabilidad en toda la trayectoria.

4.6 Diferencias entre las posiciones objetivo

Los índices de error son más altos en el objetivo 1, sugiriendo que este objetivo es el más difícil entre todos (ver figuras 24 a 27). En tres de los cuatro casos — Samuel, Juan y Jerónimo— la distribución de errores está claramente inclinada (es decir: la posición 6 es mucho más fácil que la posición 1).

Este hecho llama la atención, ya que, dada la estructura de la tarea, una distribución simétrica era lo esperado, (ver tabla 4, en el apartado Método, en la que se consignan las probabilidades correspondientes a las 6 posiciones). En el caso de Mariana, la distribución también estuvo desbalanceada, mostrando un valor atípico para el objetivo 5, y mucho menos para la posición 1. Esto se muestra en la figura 27.

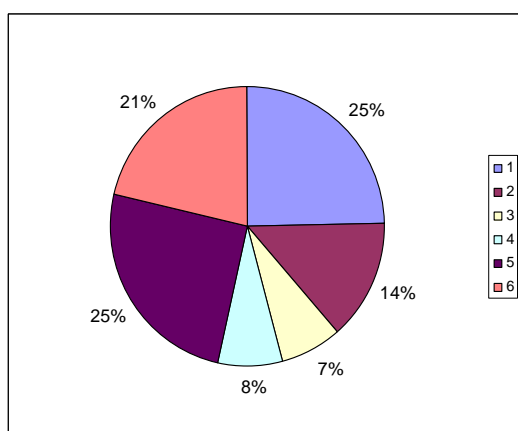


Figura 27. Índice de error para las posiciones objetivo en el caso de Mariana

Para Mariana el índice de error es de 25% de la posición 1 y la posición 5 son los más altos, seguidos de la posición 6 con 21%.

La figura 28 muestra el índice de error calculado para las posiciones objetivo en el caso de Jerónimo:

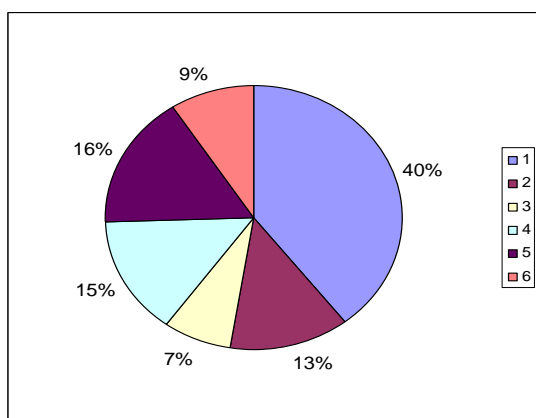


Figura 28. Índice de error para las posiciones objetivo en el caso de Jerónimo

Nuevamente en este caso (Jerónimo) el índice de error de la posición 1 es el más alto, con un promedio de 40%, seguido de la posición 5 con 16%

La figura 29 muestra el índice de error para las posiciones objetivo en el caso de Juan.

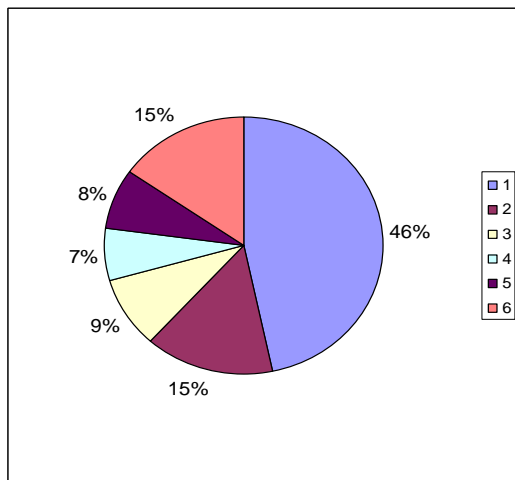


Figura 29. Índice de error para las posiciones objetivo en el caso de Juan

En Juan el índice de error de la posición 1 es muy alto, con un promedio de 46%, pero en su caso la posición cinco, al contrario de los anteriores, presenta un promedio bajo de 8%.

Por último, la figura 30 muestra el índice de error para las posiciones objetivo en el caso de Samuel.

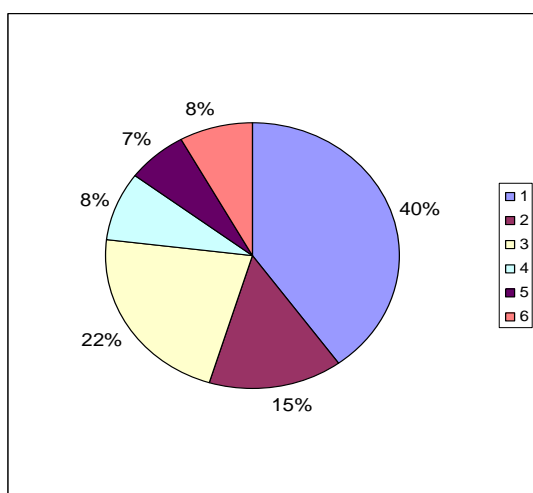


Figura 30. Índice de error para las posiciones objetivo en el caso de Samuel

En Samuel se repite un alto promedio de índice de error de 40% para la posición 1, confirmando que esta tiende a ser la más difícil para los participantes. Llama la atención el hecho de que el segundo promedio más alta corresponda a la posición 3, con un promedio de 22%.

Análisis de Montecarlo

Estas observaciones fueron evaluadas con un análisis de Monte Carlo. Este análisis permitió evaluar las diferencias entre las tareas y al interior de éstas a partir de las series de tiempo individuales.

Los resultados encontrados empíricamente fueron comparados con una distribución en la cual se recombinaron aleatoriamente los datos entre las posiciones. En dichos análisis, se tomó la ratio de los “objetivos espejo” (1-6, 2-5, 3-4) como criterio. Los resultados son bastante robustos: para todos los niños, la diferencia entre la posición 1 y la 6 fue significativa (los valores p son .009, .004, .003 y .030 para Samuel, Jerónimo, Mariana y Juan respectivamente). Adicionalmente, puede ser observado que la posición 1 es más difícil que la posición 6.

Por último, aunque fueron observadas algunas diferencias entre las tareas 2-5 y 3-4, ninguna de estas fue significativa.

Los resultados numéricos correspondientes a las diferencias entre las posiciones objetivo encontradas a partir del análisis de Montecarlo se muestran a continuación en la tabla 6:

	1 y 6	2 y 5	3 y 4
Mariana	1.15 (.030)	1.18 (.158)	0.96 (.470)
Juan	3.08 (.031)	0.51 (.131)	0.96 (.342)

Samuel	4.34 (.009)	1.23 (.356)	0.49 (.102)
Jerónimo	4.91 (.004)	0.45 (.090)	2.72 (.050)

Tabla 6. Resultados de los análisis de Monte Carlo, concernientes a las diferencias entre las posiciones objetivo (Valores-p entre paréntesis)

En dichos análisis, se tomó la ratio de los “objetivos espejo” (1-6, 2-5, 3-4) como criterio. Los resultados son bastante robustos: para todos los niños, la diferencia entre la posición 1 y la 6 fue significativa (los valores p son .009, .004, .003 y .030 para Samuel, Jerónimo, Mariana y Juan respectivamente). Adicionalmente, puede ser observado que la posición 1 es más difícil que la posición 6.

Por último, aunque fueron observadas algunas diferencias entre las tareas 2-5 y 3-4, ninguna de estas fue significativa.

5 Discusión

La presente discusión se hará a partir del análisis de las trayectorias de micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación a partir de un diseño de investigación microgenético. El objetivo es explorar las regularidades y posibles patrones en el funcionamiento de la experimentación a lo largo del tiempo. Lo primero y más importante de lo encontrado es que se confirma que los procesos cognitivos relacionados con el funcionamiento de la experimentación no responden a la estructura de sistemas ergódicos, es decir, no presentan una naturaleza permanente y continua entre los sujetos.

Se puede afirmar a partir de los datos que los procesos cognitivos ligados al funcionamiento de la experimentación, se presentan bajo la forma de tendencias que no siguen trayectorias lineales, y de ciclos que no se caracterizan por una tendencia secuencial a lo largo del tiempo, ni se suceden jerárquicamente como si

se tratara de etapas en un desarrollo teleológico. De ahí que el estudio del funcionamiento de la experimentación, y el del desarrollo científico, no resulten adecuados a partir de la identificación de medias estadísticas que representen constantes en el tiempo.

Al ligar estos datos con los encontrados en el capítulo II las trayectorias individuales han mostrado, profundizando los hallazgos producto del uso de la técnica de varclus , que los integrantes de la población se comportan de manera distinta y presentan dinámicas que no pueden ser reducidas a constantes generales. Las trayectorias de los sujetos confirman y profundizan, además, los hallazgos del capítulo II en lo que concierne al hecho de que no existen relaciones legales y de correspondencia entre variabilidad inter e intra-individual. No sólo se ha encontrado que la correspondencia entre desempeños y promedios de error no es unívoca, sino que dadas las dinámicas de la variabilidad a nivel intra-individual, son demasiado limitados los análisis que se centran únicamente en generalizaciones a partir de la variación inter-individual.

Es claro entonces, que el funcionamiento de la experimentación en los sujetos no replica las constantes acordadas que serían presentadas características de la población en un análisis tradicional. Esto se manifiesta en la identificación de un conjunto de patrones de desarrollo en el funcionamiento de la experimentación que son producto de trayectorias caracterizadas por la presencia de la variabilidad tanto a nivel intra como inter-individual a lo largo del tiempo. Dichos patrones, que dan cuenta de la no ergodicidad del funcionamiento de la experimentación, sólo se pueden identificar a través del uso de un método micro-genético que permita mediciones repetidas del funcionamiento de los sujetos.

Este método, analizado con base en la teoría de sistemas dinámicos no lineales provee una densidad de datos que hace posible la observación de las trayectorias complejas que tienen lugar durante los episodios de experimentación.

5.1 Patrones de Desarrollo

Dos observaciones prominentes se destacan en las trayectorias generales. En primer lugar, se observa una tendencia robusta hacia un mejor desempeño para los cuatro niños participantes. Los patrones varían desde un incremento gradual o global (Mariana y Jerónimo) hasta trayectorias oscilantes caracterizadas por retrocesos (Juan y Samuel). Un incremento cualitativo en los niveles de experimentación va de la mano con una reducción del índice de error.

En segundo lugar, se encuentra un alto grado de variabilidad en el desempeño de los cuatro niños. La mejora en el desempeño no fue gradual a lo largo de la resolución de problema. Se mostraron considerables fluctuaciones de momento a momento, incluso después de muchas administraciones repetidas de la misma tarea. Esto puede significar que después de una repetida exposición a la misma situación de resolución de problema, los niños tienden a regular sus estrategias mientras exploran la lógica del sistema. Durante este proceso incrementan claramente su eficiencia en lo que respecta a encontrar una solución.

Los hallazgos indican que el micro-desarrollo de la experimentación no sigue un crecimiento lineal, sino que incluye avances y retrocesos, estados exploratorios y transiciones. En síntesis, se confirma alto grado de variabilidad del desempeño — el cual es más prominente poco después de la introducción de la tarea— y presenta diferencias entre los individuos.

El análisis de las dos medidas de desempeño (niveles de experimentación e índice de error) abordadas en este trabajo indica que, a pesar de las diferencias inter-individuales, el microdesarrollo de la experimentación presenta, a lo largo del tiempo, una tendencia hacia niveles más altos de razonamiento. Complementariamente existen también algunas diferencias que vale la pena señalar: el índice de error tiende a ser una medida más compacta y menos variable cuando la media del nivel de funcionamiento se estabiliza después de un tiempo.

Puede especularse que bajos niveles de desempeño adquieren un significado diferente cuando la resolución de problema se hace más organizada para el niño. Inicialmente, los bajos niveles pueden comenzar como acciones exploratorias, dirigidas hacia la comprensión del funcionamiento del sistema. Después de esto, los niños parecen hacerse más intencionados en sus acciones, incluyendo el monitoreo de señales, que realizan con el objetivo de refrescar la representación que guía el control de las acciones para conseguir el objetivo.

Esto se observa, por ejemplo, cuando un intento con puntaje 1 es seguido de un puntaje resolutorio (8-9), lo que indica que el desempeño aparentemente básico (1) tiene el carácter de una estrategia para verificar o contrastar hipótesis. Esta interpretación es corroborada por la observación de que, en algunas ocasiones, justo antes de avanzar hacia un nivel más alto de experimentación, los niños tienden a usar estrategias correspondientes a niveles más bajos. En las ventanas de tiempo presentadas en la sección de resultados (4.2 trayectorias individuales de desempeño), se vuelve a observar como los cuatro niños pasan, a lo largo de los intentos, de niveles bajos (1) a niveles altos (9). En la cuarta ventana correspondiente a Mariana se encuentra un ejemplo concreto de esto.

La variabilidad observada en tiempo real sugiere la coexistencia de formas básicas y avanzadas de razonamiento durante el despliegue del proceso. Esta variabilidad puede ser entendida como una expresión de la flexibilidad requerida por el sistema para encontrar nuevas y más estables formas de organización.

Algunos de los patrones encontrados en los datos son bastante similares a los procesos de *scalloping* descritos por Fisher y Bidell (2006). Estos patrones aparecen bajo la forma de bajos niveles de desempeño, seguidos por un incremento gradual, al que sigue, posteriormente, una caída abrupta cuando los elementos de la tarea han sido introducidos (Fischer, Yan & Stewart, 2003).

Esto puede estar relacionado con la fragilidad del nuevo funcionamiento cognitivo, la cual genera una repetida oscilación entre construcción y colapso a lo largo de las demandas y los cambios de la situación. Dicha fragilidad no permite que el

funcionamiento cognitivo sea fácilmente generalizado a través de las tareas, y los cambios menores en la situación misma hacen que el sistema caiga a niveles más bajos, para reconstruirse constantemente a sí mismo (Fischer & Bidell, 2006).

Finalmente, aunque los cambios inmediatamente más pequeños en los niveles de desempeño en el funcionamiento de la experimentación ocurren más frecuentemente que aquellos más grandes, el patrón de cambio se desvía de la linealidad en la medida en que los niños prefieren hacer cambios pequeños. Debe señalarse que dichos cambios son, de todas maneras, más grandes que los que podrían esperarse sobre la base de un modelo de cambio lineal o de un modelo caracterizado por cambios de gran magnitud.

Esta no linealidad sugiere un patrón subyacente de condicionalidad entre los sucesivos niveles de experimentación, que no pueden ser explicados como el producto de una simple variación casual.

De esta manera, se confirma la observación de diversos autores (Puche -Navarro 2009, Puche- Navarro & Marti, 2011; Van Geert, 2011; Van Geert, 2000) con respecto a la heterogeneidad del desarrollo cognitivo, la cual se manifiesta a través de los itinerarios individuales.

Esta heterogeneidad no implica la ausencia de orden. Lo que se presenta es un conjunto de tendencias y regularidades del cambio que corresponden al tipo de funcionamiento de los sistemas dinámicos complejos. Es por ello que, siguiendo a Valsiner et al. (2009), la no ergodicidad del desarrollo cognitivo exige que se lo estudie por medio del análisis de series de tiempo. De este modo, se puede describir cómo se despliega el micro-desarrollo en tiempo real, y la forma en que el sistema se moviliza a través de trayectorias variables entre dos momentos en el tiempo.

Un aspecto importante para completar el panorama de la no ergodicidad del funcionamiento de la experimentación, compete a la variación del desempeño entre tareas, la cual ha sido identificada a partir de las trayectorias de desempeño.

5.2 La variación del desempeño entre tareas.

Los resultados confirman que los niños pueden realizar inferencias sobre resultados experimentales en los funcionamientos desarrollados en experimentos que implican el control de múltiples variables. No obstante, los resultados indican también que aunque las tareas presentan una estructura subyacente similar en lo que respecta a la resolución de problema, existen algunas diferencias importantes entre ellas.

Se encontró que, en promedio, la tarea A fue la más fácil, la tarea B la más difícil, y la tarea C puntuó entre los promedios de las dos anteriores. Esta diferencia entre A, B y C es consistente con casi todas las trayectorias, y probablemente se encuentra en relación con la demanda de flexibilidad cognitiva entre las tareas.

Cuando se daba el paso entre la tarea B y la tarea A, los niños debían adaptarse a un nuevo contexto y descubrir un nuevo conjunto de reglas. Debido a que la interacción entre variables trabajaba de diferente manera en la tarea A y en la B, los niños probablemente tuvieron que “inhibir” las reglas previas y descubrir un nuevo conjunto de éstas. Aunque el mismo razonamiento aplica para la tarea C, la adaptación en este caso fue probablemente más fácil, considerando la experiencia previa con el cambio en la tarea B.

Otra hipótesis importante para explicar las diferencias entre las tareas, tiene que ver (como se señaló en el capítulo 2) con la naturaleza del fenómeno que los niños estaban enfrentando. De esta manera, es posible plantear la influencia del contenido de la tarea sobre el desempeño de los niños, y por supuesto en la demanda cognitiva que presenta para cada una de las versiones de la tarea. Se podría hipotetizar que las colisiones resultan un fenómeno más complejo para entender que las rampas o el movimiento parabólico generado por una catapulta.

Por ejemplo, el tamaño de la bola tiene un efecto inverso en las colisiones cuando se compara con el de las rampas, y el tipo de objetos que golpean y sus efectos al colisionar pueden ser menos familiares para el niño que la dinámica de movimiento generada por una rampa. No obstante, debido a que este estudio se

concentró en el proceso de microdesarrollo, los datos para el análisis de la influencia del contenido es limitada para plantear conclusiones relevantes al respecto. Futuras investigaciones podrían plantearse en este sentido.

Una tendencia adicional fue encontrada para los dos niños con los patrones más estables (Mariana y Jerónimo). En estos casos, las diferencias entre las tareas tienden a ser mayores al comienzo, y se hacen menos fuertes hacia el final (ver promedios y número de intentos). Tal tendencia no pudo ser observada en los otros dos niños (Juan y Samuel), quienes mantuvieron importantes diferencias entre las tareas, incluso en las sesiones finales.

Así mismo, estos datos soportan el punto de vista de Thelen y Smith (1994), de que el procesamiento cognitivo no está basado en los trabajos de mecanismos cognitivos internos, tales como las Estrategias de Control de Variables (CVS). Los datos parecen indicar que los procesos cognitivos emergen en la forma de circuitos de percepción-acción en la interacción entre el sujeto y el contexto, y son, debido a ello, débilmente ensamblados e intrínsecamente variables (ver también Bickhard, 2009; Bickhard, 2012).

En una fase mayor de consolidación, estos procesos se hacen más coherentes. Este fenómeno sugiere que eventualmente son gobernados por una representación interna subyacente, que actúa como mecanismo que genera el comportamiento observado en el niño.

No obstante, esta sugerencia no está garantizada, por lo menos en lo que respecta a un modelo de sistemas dinámicos. La naturaleza emergente y débilmente ensamblada de estos procesos se mantiene, pero la emergencia en el corto plazo es exitosa en la medida en que establece un nivel más alto de similitud en los desempeños, lo que corresponde con las similitudes en la estructura formal que subyace al problema.

Los resultados muestran que estos hipotéticos mecanismos representacionales no pueden ser separados de los procesos en tiempo real que llevan a la generación de una comprensión del contenido de la tarea, o de los procesos previos que han

llevado a cabo los niños en tiempo real con el fin de generar tal tipo de comprensión. Esto soporta la idea de que la experimentación es un proceso complejo que envuelve la interacción de múltiples elementos, y que puede ser descrito como un sistema auto-organizado.

5.3 Factores adicionales que intervienen en el desempeño

Cuando se observan en detalle las diferencias dentro de las tareas, es posible identificar una diferencia en la reducción de los errores que depende de la posición del objetivo.

Mientras que existe una reducción global de los errores en cinco de las seis posiciones, la variabilidad se concentra justo alrededor del objetivo 1, el cual está posicionado más cerca del punto de partida de la bola (más cerca de la rampa, el bate o la catapulta). Este es un hallazgo interesante, toda vez que en términos de probabilidad, el objetivo 1 es equivalente al objetivo 6 (la posibilidad a priori de alcanzarlo correctamente por medio del azar es de 6% para ambas posiciones). En ambos casos, el niño debe establecer los valores de la variable en la posición más extrema (ya sea la más cercana al punto de partida o la más lejana) para alcanzar el objetivo. La asimetría sugiere que el niño percibe los objetivos de manera diferente. Esto se corrobora por medio de las observaciones durante la administración de la tarea: los niños por lo general se mostraron más “preocupados” cuando se les presentó el objetivo 1 (decían, por ejemplo: “no, ¡no es tan fácil de nuevo!”).

Una posible explicación puede ser que la tarea estaba demandando, por parte de los niños, una gran carga de inhibición, algo que parecía resultarles difícil de manejar. Es posible que los niños anticiparan el objetivo 1 como más difícil de alcanzar debido a la demanda percibida de que debían ser ‘extra cautelosos’ acerca de la posibilidad de pasar por sobre el objetivo. Por el contrario, el objetivo 6 pudo ser percibido como una meta de ‘llega tan lejos como puedas’. De esta manera se observó que, como sería de esperarse, la motivación juega un rol

importante en el proceso de razonamiento. Aunque este aspecto no era central en este trabajo, las observaciones indican que la actitud de los niños hacia las tareas tiene un efecto considerable en las futuras trayectorias del funcionamiento de la experimentación.

Dentro del conjunto de componentes que interactúan es claro entonces que algunos de esos componentes tendrán importancias diferenciadas. En ese marco la motivación juega un papel en la determinación de la forma en que tiene lugar el funcionamiento de la experimentación. Esta característica del proceso puede ser observada en las trayectorias generales, y especialmente en las últimas relativas al desempeño de Juan. Durante la sesión final, Juan expresó abiertamente su renuencia a realizar la tarea, debido a que se “sentía cansado y aburrido”.

Como resultado de este humor tenía poco interés en resolver la tarea. Los datos muestran que este niño se tomó más tiempo para alcanzar el objetivo. Como consecuencia de ello sus trayectorias presentan una gran cantidad de retrocesos.

Estos hallazgos corroboran la idea de que los aspectos motivacionales y perceptuales son una parte intrínseca del proceso en desarrollo. Lo que aquí se denomina motivación es, de hecho, una dinámica de emociones y evaluaciones que eventualmente emergen durante la situación de resolución de problema, y que son una parte intrínseca del ajuste y de los procesos de experimentación del niño en contexto. Dentro de un marco de referencia más clásico (en términos de representacionalismo), el efecto de una motivación reducida es que impide al niño recuperar una estrategia compleja almacenada internamente. De esta manera se produce un desempeño débil.

Dentro de un marco de referencia dinámico, la motivación reducida lleva a una reducción en los recursos internos y externos (por ejemplo, a través de una pérdida en el grado de atención a la información importante que es necesaria para la resolución del problema).

El resultado de la escasa motivación se lleva probablemente a un primer paso en el proceso de resolución de problema que ofrece oportunidades reducidas para la

exploración. Esto ocasiona que se tengan menos predicciones y acciones exitosas, lo que influye, a su vez, en la determinación de menores niveles de motivación.

Lo anterior implica que el proceso de resolución de problema es de tipo iterativo, y está basado en la confluencia de factores internos y externos. Durante este proceso, la “calidad cognitiva” del primer paso co-determina la calidad del segundo, y así sucesivamente con todas las etapas.

En este punto, en función del conjunto de hallazgos que hasta aquí han sido presentados y discutidos, se concluye que la experimentación puede ser concebida como un proceso complejo. Este proceso está constituido sobre la base de un proceso de desarrollo que se caracteriza por ser no lineal y no acumulativo, y en el que confluyen la auto-organización y la iteración. Para ahondar en la comprensión de la naturaleza del desarrollo del pensamiento científico y de la experimentación se hace necesario realizar más estudios que estén dirigidos a elicitar las dinámicas complejas que inciden en este tipo de procesos de desarrollo.

Investigaciones futuras deberían estar orientadas a trabajar corpus más amplios (muestras integradas por una mayor cantidad de sujetos) que permitan realizar la comparación entre conjuntos más extensos de diversos tipos de trayectorias. En el presente estudio se trató de realizar una contribución que representara un avance en la comprensión del funcionamiento de la experimentación y su desarrollo en los niños como un sistema dinámico complejo.

Esto se llevó a cabo por medio de una descripción detallada del despliegue en el tiempo de tales procesos. Esta descripción abordó tanto la escala de tiempo corto correspondiente a la resolución concreta del problema por parte del niño, como la escala de tiempo largo del aprendizaje y el desarrollo. Esta última escala cubrió los cambios ocurridos a lo largo de un período de cinco meses.

Con base en los resultados se sustenta la idea de que este tipo de descripciones detalladas son necesarios primeros pasos hacia una mejor comprensión de la

naturaleza, dinámica y compleja, de los procesos de experimentación de los niños en edades tempranas.

Tal tipo de descripciones provee una base empírica para la interpretación teórica, y la respuesta a preguntas tales como: ¿Son los procesos observados primariamente interpretables en términos de una recuperación de representaciones almacenadas internamente, o en términos de reglas estratégicas?, ¿Tales representaciones recuperadas gobiernan actividades que, hasta cierto punto, serían obstaculizadas por el ruido aleatorio que se origina de fuentes externas independientes tales como la variable “motivación”?, o ¿presentan propiedades de tal naturaleza que una interpretación en términos de procesos multivariados, no lineales, auto-organizados, iterativos e interactivos se ajusta mejor a la naturaleza de los datos?

A este respecto, los datos obtenidos en el presente estudio no son compatibles con una interpretación del pensamiento y la acción de los niños como manifestaciones de un proceso basado en la operación de un sistema aditivo de información interna.

Por el contrario, los resultados indican que el desarrollo del pensamiento científico en el contexto de la experimentación es más compatible con una visión del pensamiento y la acción de los niños como formas de un sistema dinámico complejo, el cual requiere ser explorado con mayor profundidad en el futuro.

Referencias

- Adolph, K. E., Robinson, S. R., Young, J. W., & Gill- Alvarez, F. (2008). What is the shape of developmental change? *Psychological Review*, 115, 527 – 543.
- Bickhard, M. H. (2009). Interactivism: A Manifesto. *New Ideas in Psychology*, 27, 85–9.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Children's acquisition and transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120

- Chen, Z., & Klahr, D. (2008). Remote transfer of scientific reasoning and problem-solving strategies in children. *Advances in Child Development and Behavior*, 36, 419-470.
- Combariza, E., & Puche-Navarro, R. (2009). El uso de la wavelet para el estudio de los funcionamientos inferenciales en niños pequeños. En R. Puche-Navarro (Comp.), *¿Es la mente no lineal?* (pp. 111-133). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Cortés, M., Combariza, E., & Puche-Navarro, R. (2009) Entre nubes y relojes. En R. Puche-Navarro (comp.), *¿Es la mente no lineal?* (pp. 45-72). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Courage, M. L., & Howe, M. L. (2002). From infant to child: The dynamics of cognitive change in the second year of life. *Psychological Bulletin*, 128(2), 250–277. doi:10.1037//0033-2909.128.2.250
- Fischer, K. W., & Bidell, T. R. (1998). Dynamic development of psychological structures in action and thought. In R. M. Lerner (Ed.) *Handbook of child psychology* (5th ed., Vol 1: Theoretical models of human development (5th ed., pp. 467-561). New York: Wiley.
- Fischer, K. W., & Bidell, T. R. (2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (6th ed., Vol. 1, pp. 313-399). New York: Wiley.
- Fischer, K. W., & Yan, Z. (2002b). The development of dynamic skill theory. In R. Lickliter & D. Lewkowicz (Eds.), *Conceptions of development: Lessons from the laboratory*. Hove, UK: Psychology Press.
- Fischer, K. W., Yan, Z., & Stewart, J. (2003). Adult cognitive development: Dynamics in the developmental web. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.), *Handbook of developmental psychology* (pp. 491-516). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Geert, P. (2000). The dynamics of general developmental mechanisms: From Piaget and Vygotsky to dynamic theory. *Current Directions in Psychological Science*, 9(2), 64–68.
- Gottlieb, G. (2003). Probabilistic epigenesis of development. In: J. Valsiner, & K. J. Connolly (Eds.), *Handbook of developmental psychology* (pp. 3–17). London: Sage.
- Guevara, M., Puche-Navarro, R., (2009). ¿Se desarrolla y cambia la psicología del desarrollo hacia los sistemas dinámicos no lineales? *Avances en Psicología Latinoamericana*, 27, 327–342.

- Hollenstein, T. (2007). State space grids: Analyzing dynamics across development. *International Journal of Behavioral Development*, 31, 384 – 396.
- Lewis, M. D. (2000). The promise of dynamic systems approaches for an integrated account of human development. *Child Development*, 71, 36–43.
- Lewis, M. D., Lamey, A. V., & Douglas, L. (1999). A new dynamic systems method for the analysis of early socioemotional development. *Developmental Science*, 2(4), 457-475.
- Miller, P. H., & Coyle, T. R. (1999). Developmental change: Lessons from microgenesis. In E.K. Scholnick, K. Nelson, S. A. Gelman, & P. H. Miller (Eds.), *Conceptual development: Piaget's legacy* (pp.209–239). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Ossa, J.C. (2011). *Inferencia y variabilidad en el uso de la clasificación en niños de 4 años de edad: Tres patrones de variabilidad cognitiva* (Tesis de doctorado no publicada). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Piaget, J. (1973). El punto de vista de Piaget. En Delval, J. (Comp.). *Lecturas de Psicología del niño*, (pp.167-1859). Madrid: Alianza.
- Puche Navarro, R. (2008). Érase una vez el desarrollo. En J. Larreamendy-Joerns, R. Puche-Navarro, A. Restrepo-Ibiza (Comps.), *Claves para Pensar el cambio: Ensayos sobre psicología del desarrollo*. Bogotá: Editorial Universidad de los Andes.
- Puche-Navarro, R. & Marti, E. (2011) Metodologías del cambio. *Infancia y Aprendizaje*, 34(2), 131-139.
- Puche-Navarro, R. (2001). La metáfora del niño como científico: ¿Metodologización o reconstrucción de la racionalidad? *Revista do Departamento de Psicologia da Uff*, 13(2), 27 – 47.
- Puche-Navarro, R. (2003). *El niño que piensa y vuelve a pensar*. Cali: Artes Gráficas del Valle.
- Puche-Navarro, R. (2004). Graphic jokes and children's mind: an unusual way to approachs children's representational activity. *Scandinavian Journal of Psychology*, 45(5), 343-355.
- Puche-Navarro, R. (2006). ¿Qué hay de nuevo en el Método Microgenético? Más allá de las estrategias y más acá del funcionamiento cognitivo del sujeto. *Summa Psicológica*, 13(2), 117-137.

- Puche-Navarro, R. (2007). La resolución de los problemas ¿Una alternativa integradora? *Revista Educación y Pedagogía*, 18(46), 169-189.
- Puche-Navarro, R., Colinviaux, D., & Dibar, C. (Eds.). (2001). *El niño que piensa: Un modelo de formación de maestros* [The child who thinks: A model of formation of teachers]. Cali: Artes Gráficas del Valle Editores.
- Puche-Navarro, R., Combariza, E., & Ossa, J. C. (2012). La naturaleza no lineal de los funcionamientos inferenciales: Un estudio empírico con base en el humor gráfico. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 30(1), 27-38.
- Siegler, R. S. (2000). The rebirth of children's learning. *Child Development*, 71, 26-35.
- Siegler, R. S. (2002). Microgenetic studies of self-explanations. In N. Granott & J. Parziale (Eds.), *Microdevelopment: Transition processes in development and learning* (pp. 31-58). New York: Cambridge University
- Siegler, R. S. (2006). Microgenetic analyses of learning. In W. Damon & R. M. Lerner (Series Eds.), & D. Kuhn & R. S. Siegler (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2: Cognition, perception, and language* (6th ed., pp. 464–510). Hoboken, NJ: Wiley
- Siegler, R.S. (2007). Cognitive variability. *Developmental science*, 10(1), 104-109.
- Spencer, J. P., & Perone, S. (2008). Defending qualitative change: the view from dynamical systems theory. *Child development*, 79(6), 1639–47. doi:10.1111/j.1467-8624.2008.01214.x
- Steenbeek, H., Van Geert, P., & van Dijk, M. (2011). The dynamics of children's science and technology talents: A conceptual framework for early science education. *Netherlands Journal of Psychology*, 66, 96-109.
- Stephen, D. G., & Dixon, J. A. (2009). The self-organization of insight: Entropy and power laws in problem solving. *Journal of Problem Solving*, 2, 72-101.
- Stephen, D. G., Dixon, J. A., & Isenhower, R. W. (2009). Dynamics of representational change: Entropy, action, and cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(6), 1811-1832.
- Thelen, E., & Smith, L. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Todman, J. & Dugard, P. (2001). *Single-case and small-n experimental designs: A practical guide to randomization tests*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Valsiner, J., Molenaar, P.C.M., Lyra, M.C.D.P., & Chaudhary, N. (Eds.) (2009). *Dynamic process methodology in the social and developmental sciences*. New York: Springer.
- Van Dijk, M., & Van Geert, P. (2007). Wobbles, humps and sudden jumps: A case study of continuity, discontinuity and variability in early language development. *Infant and Child Development*, 16(1), 7-33.
- Van Geert, P. & van Dijk, M. (2002). Focus on variability: New tools to study intra-individual variability in developmental data. *Infant Behavior & Development*, 25, 340-374.
- Van Geert, P. (1994). Dynamic systems of development. *Change between complexity and chaos*. New York: Harvester.
- Van Geert, P. (2008). Complex dynamic systems of development. In R. A. Meyers (Series ed.), *Encyclopedia of Complexity and System Science: Vol. 2. Applications of physics and mathematics to social science*. New York: Springer (in press).
- Van Geert, P.L.C. & van Dijk, M. (2003). The problem of inter-observer reliability in ambiguous observation data. *First Language*, 23(3):259-284.
- Yan, Z., & Fischer, K. (2002). Always under construction: Dynamic variations in adult cognitive development. *Human Development*, 45, 141–160.

CAPÍTULO 4. MICRODESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA EXPERIMENTACIÓN EN NIÑOS: ATRACTORES Y VARIABILIDAD EN EL DESARROLLO COGNITIVO.

Los estudios recientes sobre el desarrollo cognitivo de aspectos inferenciales y otras operaciones involucradas en el pensamiento científico arrojan un consenso con respecto a la presencia de variabilidad en estos procesos (Puche-Navarro, 2003; Puche-Navarro, 2008; Puche-Navarro, 2009; Puche-Navarro, 2011; de la Rosa, Rodríguez & Ossa, 2009; Ossa, 2011; Guevara & Puche Navarro, 2009; Siegler, 2002; Siegler, 2006; Miller & Coyle 1999; Yan & Fischer, 2002, Adolph, Robinson, Young & Gil-Alvarez, 2008).

Esta presencia ha provocado la necesidad de reformular las explicaciones clásicas del desarrollo, basadas en modelos lineales, con etapas fijas y progresivas (Puche-Navarro, 2009; Puche-Navarro, 2011; Puche-Navarro & Marti, 2011).

En la actualidad, una de las problemáticas fundamentales de la psicología del desarrollo compete a la comprensión del sentido de la variabilidad en las dinámicas del cambio.

En el capítulo III se avanzó en la descripción de las trayectorias variables en los desempeños durante el funcionamiento de la experimentación, y en la manera en que dichas trayectorias sustentan una caracterización del pensamiento científico como un sistema de carácter no ergódico. En este capítulo se pretende avanzar en la comprensión de las implicaciones y funciones que dicha variabilidad involucra con respecto a las dinámicas complejas del cambio en el pensamiento científico.

El énfasis está puesto en la identificación de estados de atractor, y en la caracterización de las relaciones que existen entre la variabilidad del funcionamiento de la experimentación, y fenómenos tales como la co-existencia de cambio tanto continuo como discontinuo (Puche-Navarro, 2003; Puche-Navarro, 2008) en el funcionamiento cognitivo.

En el presente estudio se responde al interrogante: ¿cuál es la relación que se establece entre ambas manifestaciones del cambio y la variabilidad en el micro-desarrollo en el funcionamiento de la experimentación en niños? El objetivo es describir la forma en que opera la variabilidad como característica del desarrollo, y sus relaciones con el cambio cognitivo desde una perspectiva de sistemas dinámicos no lineales.

En primera instancia se identifican los atractores que aparecen en el transcurso de las trayectorias variables de funcionamiento de la experimentación. En segunda instancia se trata de identificar regularidades a lo largo de los desempeños de los sujetos en tareas que implican el pensamiento científico en el contexto del funcionamiento de la experimentación.

El análisis de los datos se realiza por medio del recurso a técnicas dinámicas tales como las rejillas de estado de espacio (SSG) y las técnicas de mínimos y máximos (MIN MAX). Ambas técnicas⁵ permiten identificar trayectorias de desempeño caracterizadas por itinerarios variables (para una mayor revisión de estas técnicas ver: Van Geert & Van Dijk, 2002; Hollenstein, 2007).

Esta elección teórico-metodológica ofrece una comprensión detallada y coherente, a escala micro, de los patrones que configuran las acciones de los sujetos. Sobre la base de esta comprensión, se hace posible, en segunda instancia, avanzar en términos de la comprensión de las dinámicas y procesos inherentes al desarrollo en una escala de tiempo macro.

Los datos resultantes permiten afirmar que discontinuidad y continuidad, que son dos aspectos fundamentales de las polaridades clásicas identificadas en el cambio cognitivo (Puche-Navarro, 2008b) están ligadas a las manifestaciones de la variabilidad a lo largo del tiempo. Esto ocurre tanto en escalas de tiempo micro, como macro.

Por polaridades aquí se entiende, siguiendo a Puche Navarro (2008), un conjunto de “diferentes tensiones” con respecto a la manera en que, según diversos puntos

⁵ Una síntesis de estas técnicas, y de su utilidad para el estudio, se presenta en el apartado de método.

de vista, se lleva a cabo el cambio cognitivo. Dichas tensiones deben tenerse en cuenta, a fin de describir, explicar o fundamentar el desarrollo.

Entre éstas, según Puche Navarro (2008) se encuentran las polaridades de cambio gradual vs. abrupto, cambio continuo vs. discontinuo, componentes implícitos vs. explícitos, especificidad vs. generalidad de dominio, y universalidad vs. diferencias individuales (Garvey, 1991; Lerner, 1976; Puche-Navarro, 2003; Schwitzgebel, 1999a, 1999b; van der Veer & Valsiner, 1991).

Es necesario señalar que estas polaridades tienen un carácter descriptivo y esquemático, pero no deben ser asumidas como mutuamente excluyentes o unívocas a la hora de abordar el desarrollo. Respecto a la polaridad continuidad vs discontinuidad, Puche Navarro (2008) afirma que puede considerarse como separada de la de cambio abrupto vs cambio gradual o que ambas polaridades pueden identificarse. En este trabajo se sigue la segunda opción.

Para la exploración del micro-desarrollo de la experimentación que aquí se realiza, se parte de la base de que las evidencias que sustentan caracterizaciones del cambio como continuo (proceso que presenta un despliegue gradual), y las que sustentan caracterizaciones del cambio como discontinuo (proceso caracterizado por transformaciones abruptas), no suponen datos contradictorios, sino que, por el contrario, dan cuenta de una naturaleza compleja y dinámica de este tipo de fenómeno.

Al abordar el cambio en el microdesarrollo a partir de la variabilidad, se generan las condiciones para dar cuenta de los procesos estudiados de una manera tal que se pueda unificar ambos polos de la tensión continuidad vs discontinuidad. De este modo se da respuesta a la petición de Overton (1984, citado por Puche-Navarro, 2008), y se avanza en la respuesta a las preguntas fundamentales que guían la investigación sobre el desarrollo en la actualidad. Entre estos cuestionamientos, Puche Navarro (2008) destaca los siguientes:

¿Realmente qué es el desarrollo? ¿Es en sí mismo cambio? ¿Qué se entiende por cambio? ¿Cuál es la naturaleza de esos cambios? ¿Cuáles son los procesos que subyacen a estos cambios? ¿Qué es lo que propiamente se desarrolla?

Puche-Navarro (2008) indica que el anterior conjunto de cuestionamientos sirven a una reflexión acerca de “la naturaleza del desarrollo, de sus mecanismos, así como de las transiciones hacia el cambio” (p.30)

Para avanzar en la comprensión de estos aspectos fundamentales de la investigación sobre el desarrollo se asume que la variabilidad es un aspecto clave: en los itinerarios fluctuantes y variables se encuentran zonas de aumento de la probabilidad de que el sistema cognitivo tienda a gravitar hacia estados de atractor. Estos estados se muestran progresiva pero no linealmente más ajustados con las demandas de la experimentación. Partiendo entonces de los hallazgos de los dos capítulos anteriores: La necesidad de realizar abordajes no ergódicos de la experimentación (Capítulo II) y la caracterización de las trayectorias de micro-desarrollo y su inherente variabilidad (Capítulo III), este capítulo avanza en la identificación de atractores. Adicional a la descripción detallada de la variabilidad en el transcurso de un proceso de experimentación científica, es pertinente avanzar en la caracterización de regularidades dentro de dicha variabilidad, siendo esta una de las claves para avanzar en la comprensión de la naturaleza compleja y dinámica del cambio cognitivo.

A continuación se exponen los principales presupuestos teóricos y metodológicos que sirven de base al tipo de abordaje utilizado en este estudio. Posteriormente se describen los aspectos metodológicos generales de la investigación, incluyendo los resultados de la misma. Por último, se discuten los datos y sus implicaciones en lo que concierne al estudio de las funciones de la variabilidad con respecto al micro-desarrollo de la experimentación y la polaridad continuidad-discontinuidad del cambio cognitivo.

El Estudio de la Variabilidad desde los Sistemas Dinámicos no Lineales: superando la polaridad discontinuidad y continuidad en el cambio cognitivo

Las preguntas que en el transcurso de este estudio aún subsisten con respecto al desarrollo cognitivo del pensamiento científico son varias y se entretajan entre sí. Algunas de estas preguntas se vienen trabajando en el grupo C&DR desde hace varios años. La problemática de la Variabilidad y de su relación con la presencia de continuidad y discontinuidad en el marco del desarrollo, son centrales en los intereses del grupo (Puche-Navarro, 2008; Puche-Navarro, 2009; Puche-Navarro, 2012; Puche-Navarro, Combariza & Ossa, 2012; de la Rosa, 2012; Ossa, 2011).

En varios estudios recientes (Siegler, 2000; Siegler, 2007; Puche-Navarro, 2003; Puche-Navarro, 2009) se ha encontrado la presencia de variabilidad en los comportamientos de los niños insertos en tareas que permiten caracterizar el funcionamiento cognitivo. Puche-Navarro et al.(2012) señalan que la comprensión de la variabilidad como característica inherente al desarrollo representa el cambio más significativo que ha ocurrido en la investigación acerca de la cognición durante las décadas recientes. Por lo general, en estudios tradicionales la variabilidad es concebida simplemente como un problema técnico (Puche-Navarro et al., 2012), y las descripciones del desarrollo que desde que se realizaban no fueron capaces de dar cuenta de toda la complejidad y dinamismo que lo caracterizan.

Esto ha cambiado a partir de los trabajos de Siegler (2000, 2002, 2006), y los de autores como Miller y Coyle (1999), y Fischer (Yan & Fischer, 2002; Fischer & Yan, 2002; Fischer, Yan & Stewart, 2003; Fischer & Bidell, 2006). Los estudios recientes, basados en un punto de vista que asume el desarrollo cognitivo como un proceso de naturaleza variable, abordan la variabilidad como un aspecto del desarrollo que requiere ser explicado (Puche-Navarro et al., 2012). La comprensión de la variabilidad en el desarrollo permitiría avanzar en la comprensión de la naturaleza real de éste. Las fluctuaciones y movilizaciones que ha descrito Puche-Navarro et al. (2012) como propias del desarrollo son correlativas a procesos de desarrollo y micro-desarrollo que no presentan “una

sucesión fija de etapas”, y en los que “una etapa previa como condición de la siguiente queda relegada a casos muy específicos” (Puche-Navarro et al., 2012).

Autores como Guevara y Puche-Navarro (2009), sustentados en Siegler (2002), Siegler (2006), Miller y Coyle (1999), Puche-Navarro (2004), Adolph, Robinson, Young y Gil-Alvarez (2008), afirman que “el estudio del desarrollo en el nivel micro, enfrenta la evidencia cada vez más amplia, de la diversidad de itinerarios en los desempeños de un niño ante una misma tarea”. Además, la variabilidad:

No solamente está presente entre diferentes individuos, donde ha sido reconocida hace mucho tiempo, sino también para el caso de personas individuales que resuelven el mismo problema en dos momentos en el tiempo cercanos entre sí, e incluso dentro del desempeño de un individuo en el transcurso de un mismo intento (Siegler, 2007: 104).

Por tanto, la comprensión de la variabilidad se presenta como una necesidad fundamental de la investigación, en la medida en que se ha reconocido que esta tiene un carácter omnipresente en el desarrollo cognitivo (Siegler, 2007).

La variabilidad determina un orden errático en los cambios del desarrollo (Combariza & Puche-Navarro, 2009). Tal variabilidad es asumida como la característica del sistema cognitivo que indica que éste no responde a la descripción clásica de un proceso en escalones de idéntico tamaño que siguen etapas lineales y acumulativas (Combariza & Puche-Navarro, 2009).

Cambio y variabilidad son entendidos como manifestaciones integradas de la complejidad del funcionamiento cognitivo. Esto implica la necesidad de la generación de modelos explicativos no lineales, que resulten eficaces para responder a las preguntas clásicas que se encuentran en la base de los estudios del desarrollo cognitivo.

Entre estas preguntas reviste especial importancia la que compete a la explicación de la coexistencia de la polaridad del cambio continuo y discontinuo, y las dinámicas que subyacen a ésta (Puche-Navarro, 2008).

Para ampliar y fortalecer el abordaje del microdesarrollo, y dar cuenta de la naturaleza de la variabilidad inherente al mismo, se recurre a una conceptualización de los problemas del desarrollo desde la Teoría de Sistemas Dinámicos no Lineales (Yan & Fischer, 2002; van Geert & van Dijk, 2002, Van Dijk & van Geert, 2007; Combariza & Puche, 2009; Guevara & Puche-Navarro, 2011).

Esta teoría resulta idónea para el estudio del desarrollo en la medida en que, además de otorgar un estatuto conceptual a la variabilidad acorde con su funcionamiento dentro del desarrollo, permite considerar al desarrollo mismo como variable. Así mismo aparece como una forma de conceptualizar el desarrollo que puede dar cuenta de las dinámicas siempre cambiantes de la actividad cognitiva (Puche-Navarro et al., 2012)

La pertinencia de los sistemas dinámicos no lineales se basa en conceptos tales como el emergencia, auto-organización, no linealidad, y estados de atractor (Van Geert, 2003). Estos conceptos se adecúan a la descripción de procesos en los que la variabilidad y el cambio continuo y discontinuo se manifiestan, como es el caso del desarrollo cognitivo.

Entre los estudios que integran el programa de investigación al que este capítulo se adscribe, los cuales comparten una perspectiva de Sistemas Dinámicos no Lineales, son importantes los trabajos sobre planificación adelantados por Guevara & Puche-Navarro (2009); sobre clasificación (Ossa & Puche-Navarro, 2010); y sobre funcionamientos inferenciales en niños pequeños (Puche-Navarro et al., 2012).

El conjunto de dichos estudios ha supuesto un avance en la descripción de la manera en que la variabilidad es un rasgo típico del desarrollo cognitivo. Estas investigaciones han mostrado que, desde una perspectiva de Sistemas Dinámicos no Lineales, el desarrollo puede ser asumido y explicado como un sistema dinámico complejo, es decir, como una:

Colección de componentes (tales como individuos en un grupo social, percepciones, memorias recuperadas, acciones motoras y diversas actividades mentales internas en el caso de un proceso cognitivo), que interactúan con otras, y que cambian sus propiedades entre sí como resultado de esa interacción. (Van Geert, 2008)

Estos conjuntos de componentes dinámicamente conectados presentan propiedades generales (Van Geert, 2008) tales como la de auto-organización, la emergencia de estados de atractor, organizaciones débilmente ensambladas, diferenciación entre escalas de tiempo que interactúan mutuamente, y cambio discontinuo, entre otras. Adicionalmente, los trabajos del grupo CD&R han aportado también avances que soportan la idea de que el desarrollo puede ser explicado por medio de la identificación de los estados de atractor⁶ por los que pasa. A esta caracterización la complementa la identificación de las transiciones que se dan entre estados de atractor bajo la forma de auto-organizaciones sucesivas. Tales conceptos permiten trascender la idea de variabilidad como 'ruido', y hacen posible identificar las regularidades que subyacen a ésta. De esta manera, se hace factible conectar la regularidad y la variabilidad como propiedades del desarrollo aparentemente contradictorias, pero funcionalmente complementarias, en la medida en que cada nueva organización del sistema, posibilitada por un re-ensamble de los componentes previos del mismo, equivale a un nuevo estado de atractor (Van Geert, 2003).

Con el fin de ahondar en la comprensión de la forma en que la variabilidad está ligada al micro-desarrollo, este estudio se ha centrado en la identificación de los estados de atractor a partir del análisis microgenético de las movilizaciones en el desempeño de los sujetos dentro del dominio de la experimentación. Por funcionamiento de la experimentación se entiende el conjunto de procedimientos dirigidos a confirmar y/o refutar la relevancia de ciertas ideas o hipótesis relativas a los hechos, o a validar criterios para situaciones particulares. Se trata de capturar los aspectos del micro-desarrollo que están relacionados con la no

⁶ Los conceptos de atractor y transición, centrales en el desarrollo del abordaje del microdesarrollo en la experimentación que caracteriza a este estudio, serán expuestos en profundidad más adelante.

linealidad y la auto-organización; y explorar las transiciones y los cambios en las trayectorias que se manifiestan en el transcurso de la experimentación.

La idea entonces es avanzar hacia una explicación de la doble naturaleza del desarrollo basada en el cambio continuo y discontinuo. Así mismo se pretende recuperar las explicaciones fundamentales de la psicología del desarrollo, que ilustra la manera en que algo nuevo -en este caso una nueva organización del sistema- se genera a partir de algo viejo, que sería el conjunto de los componentes existentes, diversos y complejos que son nuevamente ensamblados (Van Geert, 2003). Así, se abre la posibilidad de avanzar en la comprensión del problema teórico que representa la polaridad continuidad/discontinuidad (Puche-Navarro, 2003), cuyos extremos parecen, a primera vista, dar cuenta de procesos de naturaleza diversa.

La discontinuidad plantea el desarrollo en términos de cambios que se dan como resultado de transformaciones abruptas. Estas transformaciones son cualitativamente caracterizables en períodos de tiempo extensos durante los que se puede establecer una clara diferenciación entre unos y otros. Por su parte, la continuidad en el cambio cognitivo corresponde a las transformaciones internas que se dan a pequeña escala y de manera continua en periodos de tiempo cortos. Estas transformaciones no representan cambios estructurales sino cambios graduales. Desde una perspectiva de Sistemas Dinámicos no Lineales la relación entre desarrollo continuo y discontinuo no es excluyente. Se ha establecido que ambos aspectos van de la mano (Fischer & Bidell, 2006; Puche-Navarro, 2004; Spencer & Perone, 2008), de manera que lo que se requiere es un abordaje que permita elicitar las conexiones existentes entre estos. Dichas conexiones pueden ser estudiadas en escalas locales de tiempo, o escalas micro, en las que se manifiestan características relevantes del funcionamiento cognitivo. Entre estas características se encuentran los fenómenos de auto-organización. La auto-organización hace parte de la continuidad del proceso cognitivo, y en su desarrollo se manifiesta la emergencia de cambios discontinuos. Estos procesos de **auto-organización** están íntimamente relacionados con la **no linealidad**. De

hecho, la no linealidad es en sí misma un efecto no lineal de causas subyacentes. Ésta puede emerger súbitamente sin que para ello sea necesaria la presencia de un cambio aparente en los factores causales que la determinan.

La definición precisa de los cambios discontinuos que dan los sistemas dinámicos posibilita la creación de patrones claros que permitan identificar el cambio cualitativo (Spencer & Perone, 2008). Así mismo, esta perspectiva puede dar una mayor claridad en las explicaciones acerca de la conexión entre cambio continuo y discontinuo.

El punto de partida de tal tipo de explicación de los patrones del cambio cualitativo es el concepto de **atractor**. Este concepto permite definir el cambio en los sistemas dinámicos como el resultado de la transición que ocurre cuando un sistema va de un estado a otro, a través de una inestabilidad en el transcurso de trayectorias caracterizadas por la variabilidad. Los atractores se encuentran ligados con las dinámicas de auto-organización, que implican el surgimiento de una nueva estructura a partir de una “ruptura” espontánea. Dicha ruptura transforma los límites vinculantes de las partes de la estructura actual (Stephen, Dixon & Isenhowe, 2009). A continuación, se profundiza en la noción de *atractor* y en las razones por las que es el dispositivo teórico central —junto con las nociones de variabilidad, y de polaridad entre continuidad y discontinuidad en el cambio— de la caracterización del micro-desarrollo que aquí se presenta.

El concepto de atractor en la comprensión de las dinámicas del micro-desarrollo en la experimentación

Para identificar las dinámicas responsables por la coexistencia de continuidad y discontinuidad en el cambio, se hace necesario aislar el momento en que un atractor se vuelve inestable y otro emerge. Esto hace referencia al momento en que el sistema abandona un estado y empieza a gravitar hacia una nueva forma de organización (Spencer & Perone, 2008). Los atractores se definen como “puntos especiales hacia los cuales el sistema gravita a través del tiempo” (Spencer & Perone, 2008), como “regiones de convergencia de trayectorias que

pese a su apariencia de desorden, en realidad presentan un orden y una periodicidad subyacente, en la forma de patrones no evidentes a primera vista” (Thelen & Smith, 1998). O, en otras palabras, como regiones de fuerzas encontradas al interior de un sistema (Combariza & Puche, 2009)

Los atractores son muy útiles para caracterizar 'patrones de variabilidad' pues en realidad lo que subyace a esos patrones está definido por una zona de atractores (Puche-Navarro et al., 2012). Los patrones de variabilidad conectados a los atractores dan cuenta de las variaciones y los tipos de trayectorias que siguen los itinerarios de desarrollo (Ossa, 2011). En consecuencia, es a través de la identificación de los patrones de variabilidad, y/o la dinámica de estados de atractor, que resulta factible dar cuenta de las dinámicas de auto-organización que subyacen al cambio en escala de tiempo micro, y, eventualmente, en escala de tiempo macro.

De modo acorde con este panorama, la hipótesis de Stephen y Dixon (2009) con relación a la cognición, es que una nueva estructura cognitiva emerge a través de la auto-organización del sistema por medio del paso entre atractores mientras las personas interactúan con la tarea. La emergencia de nuevas estructuras equivale al producto de la alternancia funcional entre períodos de desorden y auto-organización en nuevos estados de atractor (tendencia del sistema hacia el orden) (Stephen & Dixon, 2009).

Los atractores constituyen atributos de la trayectoria del estado de fase, que se define como el “espacio probabilístico que reúne el conjunto de todas las fases en las que el sistema puede potencialmente llegar a estar” (Stephen & Dixon 2009). Por tanto, es posible encontrar, en un estado de fase, una trayectoria multidimensional susceptible de describir el comportamiento entero del sistema. De ahí que el estado de fase se asuma como una de las herramientas dinámicas indispensables para predecir la emergencia de una estructura cognitiva nueva (Stephen & Dixon, 2009). Dentro de estas trayectorias descritas en el interior de un estado de fase se dan cambios en el comportamiento macroscópico del

sistema. La identificación de estos cambios permite dar cuenta de la coexistencia en el sistema del cambio continuo y discontinuo que caracterizan al desarrollo.

Una de las tendencias fundacionales de la teoría dinámica es que los cambios en la escala microscópica coinciden con los cambios a escala macroscópica. Desde la perspectiva de la psicología del desarrollo esto implica que la emergencia de una estructura cognitiva macroscópica puede ser explicada por las fluctuaciones microscópicas. Considerando lo anterior, en el campo de la resolución de problemas, las estructuras cognitivas emergentes aparecen como el resultado del flujo de energía entre el sujeto y el problema. Este flujo de energía lleva al establecimiento de una trayectoria de auto-organización (Stephen & Dixon, 2009).

Es necesario aclarar, que las posiciones de Dixon y Thelen difieren debido a que la segunda no acepta una definición de sistemas dinámicos en términos de estructuras. No obstante, con el fin de acercarnos a una mirada sobre el cambio cognitivo desde los sistemas dinámicos, retomar algunos aspectos de cada una de estas perspectivas resulta pertinente. El resultado de esta auto-organización es un atractor débilmente ensamblado, es decir, un modo de funcionamiento hacia el cual el sistema dinámico tenderá a gravitar en adelante hasta una nueva auto-organización. En este sentido, el cambio cognitivo puede ser descrito en términos de atractores y auto-organización (Thelen & Smith, 1994; Smith, 2005). Este tipo de cambios no son simples, ya que los estados de atractor están determinados multicausalmente. En consecuencia puede ser difícil entender la irregularidad de sus dinámicas, especialmente cuando los componentes que constituyen el comportamiento no son siempre evidentes. Es por esto que es necesario observar los perfiles particulares que separan un estado de otro (Spencer & Perone, 2008). Tales cambios operan de manera continua, sobre una escala de desempeño de segundo a segundo. De ahí que resulte necesario un análisis del desarrollo de carácter local, enfocado en la identificación de estados de atractor en tiempo real.

Estas transiciones que marcan los cambios, y que ocurren entre estados del sistema cualitativamente diferentes, presentan valores específicos de umbral. En

concreto, toda transición equivale a un salto repentino del sistema, que va de un nivel de equilibrio a otro.

Es posible afirmar que una de las ventajas más relevantes del tipo de abordaje del micro-desarrollo y funcionamiento de la experimentación en niños que aquí se propone, es que reduce operativamente el casi infinito número de posibles estados del sistema a ser explicados (Van Geert, 2003). Un abordaje microgenético y con metodologías de los SDNL permite al investigador enfocar su atención en un reducido número de estados preferidos, o estados de atractor. A través de tales estados es factible visualizar tanto los cambios discontinuos, como el cambio continuo que se manifiestan en el sistema, y la relación entre ambos. El micro-desarrollo y el desarrollo, en tanto diferentes niveles de un sistema dinámico no lineal, se configuran en el tiempo a través de distintas formas de organización, o estados de atractor. Estos estados tienen el carácter de patrones que pueden aparecer como cíclicos o caóticos. Dichos patrones se manifiestan bajo la forma de "regiones de convergencia de trayectorias que pese a su aparente desorden, en realidad presentan un orden y una periodicidad subyacente, en la forma de patrones no evidentes a primera vista" (Thelen & Smith, 1998).

En consecuencia, se aborda el estudio del desarrollo partiendo del hecho de que lo que cambia en éste es la emergencia de los diferentes estados del sistema en tiempo real. Esto implica una doble función de estabilidad y variabilidad en la habilidad del niño para cambiar flexiblemente de un estado de atractor al otro. Por medio de la identificación de la emergencia y la auto-organización de las conductas es posible capturar los patrones de variabilidad que ocurren como resultado de los múltiples factores que interactúan entre sí (Guevara & Puche, 2009). Esta perspectiva permite, además, dar cuenta de la iteración y las bifurcaciones que caracterizan a los procesos propios del micro-desarrollo, y que se articulan con los patrones generales del cambio cognitivo. Así, se ajusta la investigación a los requerimientos que representan los hallazgos de estudios recientes, a partir de los cuales se caracteriza a los procesos involucrados en el

desarrollo como “altamente no lineales, heterogéneos y dependientes de un amplio rango de factores” (Rose & Fischer, 2009, p. 417).

A partir de los SDNL y un método microgenético se abre el camino para la comprensión de las relaciones que se establecen entre variabilidad y cambio discontinuo y continuo en el marco del funcionamiento cognitivo y el micro-desarrollo.

Este estudio debe partir de la identificación de las interacciones que se presentan en los patrones de variabilidad. A través de estas interacciones se pueden apreciar las variaciones y los tipos de movilizaciones que tienen lugar a lo largo de las trayectorias del funcionamiento cognitivo (De la Rosa, Rodríguez & Ossa, 2009) propios del funcionamiento cognitivo. En este punto es importante recordar que, cuando se habla de patrones de variabilidad, se hace mención a una zona de atractores.

Las preguntas específicas de investigación para este capítulo son:

¿Existe algún patrón de cambio de la variabilidad en el funcionamiento de la experimentación al resolver las tareas? Sí es así ¿qué tipo de patrón describe el cambio?

¿Es posible caracterizar los patrones de cambio de la variabilidad en la forma de zonas de atractor en el funcionamiento de la experimentación?

¿Es posible identificar la relación que existe entre la variabilidad y la tendencia del sistema cognitivo a gravitar en torno a determinadas zonas de atractor?

En el siguiente apartado se presentan los aspectos metodológicos fundamentales del estudio por medio del cual se produjo tal caracterización centrada en los conceptos de variabilidad y de estados de atractor.

2 Método

2.1 Participantes

En este estudio participaron un total de 4 niños en edad pre-escolar, de un nivel socio-económico medio. Los niños participantes no hicieron parte de la muestra mencionada en el capítulo 2. La muestra consistió de tres niños (Jerónimo, Samuel, y Juan, cuyas edades respectivas eran de 5;2, 5;6 y 5;6 años) y una niña (Mariana, de 5;6 años). Todos los niños asistían al mismo colegio en la ciudad de Cali (Colombia), y estaban en el grado de transición (equivalente a la escuela elemental/kindergarten, en el sistema de los Estados Unidos). Los participantes antes descritos son los mismos del capítulo 3.

2.2 Instrumentos

Debido a que los instrumentos fueron los mismos a lo largo de toda la investigación y en aras de hacer la lectura más fácil, la descripción completa de los mismos se puede revisar en la sección de método del capítulo 2.

Procedimiento

Este capítulo se desarrolla con la misma serie de datos del capítulo 3. En este orden de ideas el procedimiento puede ser revisado en la sección de método del capítulo 3.

2.4 Análisis

Construcción de las variables de los objetivos: niveles de funcionamiento en la experimentación e índice de error.

En este estudio, la atención se enfoca en dos medidas como indicadores del desempeño en cada sesión. Estas son: 1) Niveles de funcionamiento en la experimentación. El desempeño de los niños fue puntuado con base en los ajustes que realizaron sobre el sistema en movimiento. Estos ajustes fueron dirigidos a alcanzar ciertos objetivos, y fueron puntuados dentro de una escala de 1 a 9, establecida sobre la base a la relación con el intento previo (en la que 1 correspondía al menos complejo y 9 al desempeño más avanzado (Ver tabla 5). Aquí, el término “intento” se refiere a cada ocasión en la que el niño especificó los valores de las variables en el sistema en movimiento, y arrojó el objeto para alcanzar el objetivo.

Los niveles estaban jerárquicamente organizados con base en: a) el uso de retroalimentación a propósito de la tarea (información de intentos previos, relacionada con la distancia alcanzada vs la distancia objetivo), b) la coordinación de variables (sincronización de los valores de las variables para hacer que el objeto se desplace en una dirección), c) aislamiento de variables y, d) éxito en el alcance del objetivo.

Por cada intento del niño puede recibir uno de tres resultados (exceder posición objetivo, alcanzar el objetivo, no alcanzar la posición objetivo) y ajustar tres variables (A, B y / o D) aumentando, disminuir o no cambiar los valores.

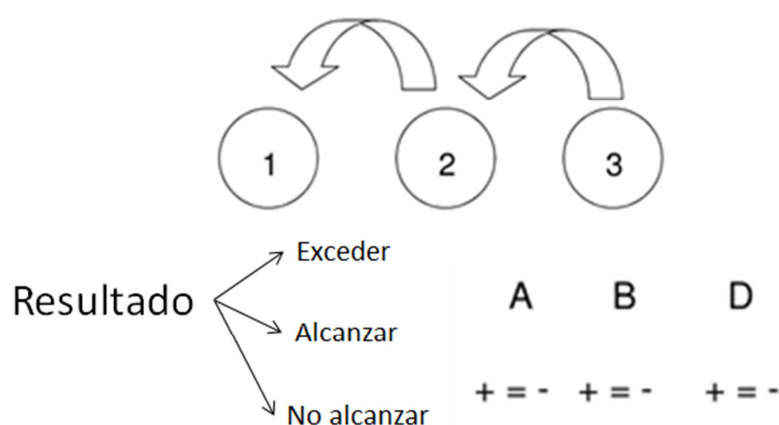


Figura 2. Representación de los ajustes de los intentos por parte de los niños.

Los niveles están organizados jerárquicamente a partir del uso de la retroalimentación tarea (uso de la información del intento anterior relacionando la distancia alcanzada vs. la distancia objetivo), la coordinación de variables (sincronización de los valores de variables para hacer que el objeto se desplace en una dirección), aislamiento de variables y el éxito de llegar a la meta.

Índice de error

La suma de las
distancias
absolutas entre

Objetivo	Resultado	Error
5	3	2
5	4	1
5	5	0
Error Total		3

Figura 3. Ejemplo de índice de error-.

Tabla 5, que se muestra a continuación, resume los niveles de experimentación que resultan de los principios de codificación seguido por el algoritmo de puntuación descrito anteriormente:

Tabla 5

Los niveles de funcionamiento de la experimentación que describen el desempeño en cada intento individuo (para un ejemplo concreto ver capítulo 2)

	Nivel	Uso de la información de retroalimentación	Coordinación de variables	Aislamiento de variables	Exito
1	Reiteración de magnitudes entre los intentos	Ausencia del uso sistemático de la información de retroalimentación	Sin coordinación de variables	Sin aislamiento de variables	Sin alcanzar la distancia objetivo
2	Ajuste básico sin coordinación de la magnitud ni coordinación de la información previa.				
3	Ajuste básico con coordinación de la magnitud pero sin coordinación de la información previa.		Con coordinación de variables		
4	Ajuste básico con aislamiento de variables pero sin coordinación de la información previa.			Con Aislamiento de variables	
5	Ajustes de múltiples variables sin coordinación de la magnitud pero coordinada con la información previa	Presencia del uso sistemático de la información de retroalimentación	Sin coordinación de variables	Sin Aislamiento de variables	
6	Ajuste con múltiples variables con coordinación de magnitudes e información previa y parcialmente adaptada a la meta		Con coordinación de variables		
7	Ajuste sistemático con aislamiento de variables con coordinación de magnitudes e información previa y parcialmente adaptada a la meta			Con Aislamiento de variables	

8	Ajuste con múltiples variables con coordinación de magnitudes e información previa alcanzando el objetivo			Sin Aislamiento de variables	Alcanzando la distancia objetivo
9	Ajuste sistemático con aislamiento de variables con coordinación de magnitudes e información previa alcanzando el objetivo			Con Aislamiento de variables	

Las dos escalas (Los niveles de funcionamiento de la experimentación y el índice de error) se establecen directamente sobre las acciones del niño y registradas y puntuadas por el software. Las sesiones fueron además video-grabadas y se recogieron verbalizaciones y gestos. No obstante, dichas verbalizaciones y gestos solo serán retomadas a para complementar algunas descripciones y no serán analizadas para este trabajo. Se prevé profundizar en ellas en trabajos futuros.

Este abordaje metodológico sirve a una descripción de las múltiples trayectorias de cambio en el tiempo que pueden tener lugar durante la realización de las tareas. En primera instancia, se hace uso de la técnica de gráficos Min-Max, que, con base en los datos en bruto, permite obtener una captura de las tendencias locales y de la variabilidad. Esta técnica muestra los datos por medio del uso de un ancho de banda de puntajes observados (Van Geert, 2002).

Esto se realiza por medio de una representación gráfica de los extremos más altos y más bajos en las trayectorias de desempeño, que son presentados a través de una ventana móvil de valores mínimos y máximos; es decir, una ventana de tiempo que se mueve una posición (ocasión de medida) cada vez (Ven Geert &

Van Dijk, 2002). El resultado es una representación gráfica de los rangos de variabilidad, y de la forma en que ésta cambia a lo largo del tiempo.

Con esta técnica, que trata los datos en un continuo de tiempo, en lugar de obtener mediciones reducidas a simples puntos, la ventana móvil de mínimos y máximos permite al investigador acceder a un rango de puntaje para cada ocasión de medida.

En segunda instancia, se construyeron gráficas de espacio de estado (state space grids) para acceder a una representación detallada de la forma en que ocurrieron las trayectorias en cada sesión y de las transiciones implícitas en éstas. Así mismo, esta técnica permite caracterizar los estados de atractor presentes en el desempeño, a partir de la identificación de los patrones de micro-desarrollo.

La gráfica de espacio de estado (SSG: State Space Grid) es un método desarrollado por Lewis y colaboradores (Lewis, Lamey & Douglas, 1999), el cual consiste en un abordaje gráfico que hace uso de datos ordinales, y cuantifica estos datos de acuerdo con dos dimensiones, a partir de las cuales se define el Espacio de Estado para el sistema en un tiempo ordinal sincrónico (Hollenstein, 2007).

Las transiciones fueron clasificadas en 4 categorías (bajo, decreciente, en incremento, y alto). *Bajo*, se refiere a las transiciones entre los niveles 1-5. *Decreciente*, incluye las transiciones que van de los niveles 6-9 hasta los niveles 1-5. El nivel *en incremento* describe los movimientos desde los niveles 1-5 hasta los niveles 6-9. Por último, las transiciones de *alto nivel* corresponden a aquellas que se presentaron dentro de los niveles 6-9.

A continuación, se presentan las descripciones de los resultados concernientes, en primer lugar, a los rangos de variabilidad observados por medio de la técnica de Gráficas de Mínimos y Máximos, se presentarán en bloques de 50 puntos. Esto se realiza para facilitar la descripción, y no corresponde a conjuntos de sesiones específicas o tareas puntuales.

3 Resultados

3.1 Descripción de los rangos de variabilidad a partir de gráficas de min-max

En este apartado se presentan los datos concernientes a la descripción de los rangos de variabilidad identificados a lo largo del funcionamiento de la experimentación en la resolución de la tarea. A continuación se expone un ejemplo del funcionamiento de dicha técnica, a partir del caso hipotético del funcionamiento de la experimentación de un niño, que se encuentran en un rango de 1 a 9, según la escala presentada en la tabla 5.

En la columna de la izquierda se consignan las veinte puntuaciones, y la columna siguiente, dentro del cuadrante amarillo, corresponde a las puntuaciones para cada intento.

En esta técnica se establece el rango a partir de una escala de mínimos y máximos para una ventana de tiempo continuo de cinco puntuaciones. El mínimo corresponde a la segunda puntuación consecuente, y el máximo a la segunda puntuación precedente. La secuencia procede avanzando un punto (intento-calificación) cada vez y estableciendo su mínimo y su máximo. El rango es la secuencia de mínimos y máximos resultantes. Esto se muestra en la tabla 1:

	Datos	Min	Max
1	1	1	5
2	3	1	5
3	5	1	5
4	4	1	5
5	4	1	5
6	1	1	6
7	3	1	7
8	6	1	7
9	7	3	7
10	6	4	7
11	6	4	7
12	4	4	8
13	5	4	9
14	8	4	9
15	9	5	9
16	7	6	9
17	9	6	9
18	6	6	9
19	7	6	9
20	7	6	7

Tabla 1. Funcionamiento de la técnica de mínimos y máximos.

En este caso, se toma como ejemplo la décima puntuación (ver tabla 2) tiene como mínimo un puntaje de 4 (dos puntajes anteriores) y como máximo un puntaje de 7 (dos puntajes consecuentes). Por tanto, el rango de mín-max es de 4-7. Este resultado se obtiene al seleccionar el puntaje mínimo y máximo para la ventana de tiempo de 5 puntos que rodea a la puntuación número 10.

8	6
9	7
=>10	6
11	6
12	4

Tabla 2. Ventana de Tiempo de 5 puntos Max-Min.

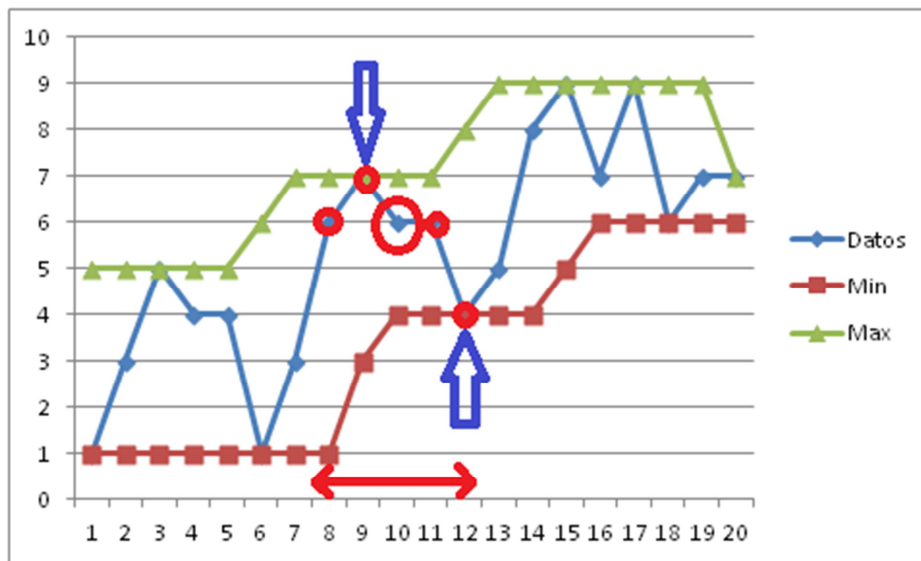


Figura 1. Ventana de tiempo

La FIG 1 permite observar como a partir de los datos brutos seleccionados dentro de la ventana de tiempo se construye un rango de mínimos y máximos que rodea al décimo puntaje bruto. Los puntos en rojo indican los puntajes que se están teniendo en cuenta para establecer el rango de mínimos y máximos para el puntaje con el círculo rojo grande. Las flechas señalan los puntajes máximos y mínimos para este caso. Este rango da cuenta de la amplitud de la variabilidad de la trayectoria alrededor de un punto determinado (en este caso, el 10). Debido a que este proceso se repite para cada uno de los puntos de la trayectoria, lo que se obtiene al final es un rango móvil que da cuenta de la variabilidad del sistema a lo largo del tiempo.

3.1.1 Mariana

A continuación se presentan los resultados de los rangos de variabilidad para el caso de Mariana que fueron obtenidos por medio de la técnica MIN-MAX. La observación de los datos brutos en la figura 2, permite identificar la presencia de variabilidad a lo largo de toda la trayectoria. No obstante es también posible observar un cambio en el comportamiento de dicha variabilidad. Durante las primeras cincuenta mediciones la línea de máximos oscila entre los valores de siete (7) y nueve (9), mientras que la de mínimos presenta una fuerte tendencia a concentrarse alrededor del valor uno (1).

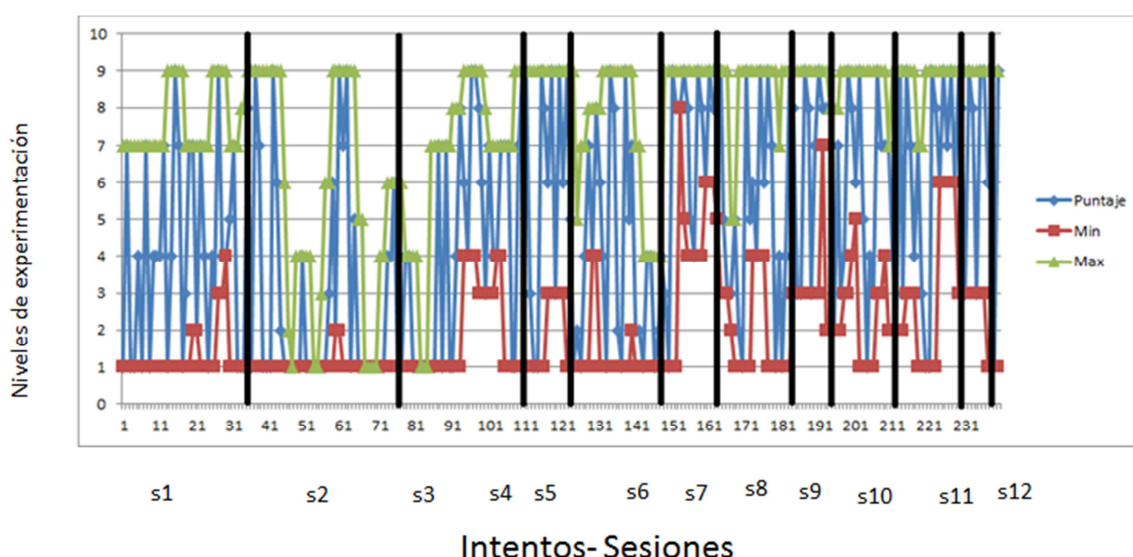


Figura 2. Rangos variabilidad Mariana

Entre los valores cincuenta (50) y cien (100) se observa un cambio en la tendencia general, consistente en un descenso en la línea de máximos durante la mayor parte de este segmento de la trayectoria, sin que se aprecien concentraciones fuertes en torno a ningún valor específico. Simultáneamente, la tendencia de mínimos para este mismo segmento permanece manifestando una tendencia hacia el valor de uno (1). Al final de este segmento se observa, por primera vez en la trayectoria, un ascenso en la línea de mínimos, que se traduce

en una reducción del rango de variabilidad cuando ésta se acerca al valor cien (100).

Entre los valores de cien (100) y ciento cincuenta (150) persiste la fuerte tendencia de la línea de mínimos a establecerse en torno al valor uno (1), mientras que la línea de máximos tiende a concentrarse hacia el valor nueve (9), aunque, simultáneamente, se observa la presencia de dos descensos fuertes en esta parte de la trayectoria.

Por último, entre los valores ciento cincuenta (150) y doscientos cincuenta (250) se hace evidente una transformación en la distribución de los valores mínimos y máximos. Los valores mínimos tienden a alejarse de las concentraciones en torno al valor uno (1) que se vuelven esporádicas y mucho más cortas en términos de duración. Por su parte, los máximos se concentran alrededor de los puntajes altos, de manera consistente, y los descensos que se presentan no vuelven a alcanzar los niveles más bajos obtenidos anteriormente. La observación de esta gráfica de máximos y mínimos, permite identificar una reducción del rango de variabilidad hacia la segunda mitad (entre 100 y 200) que no obstante sigue siendo amplia.

Jerónimo

A continuación se presentan los resultados de los rangos de variabilidad para el caso de Jerónimo que fueron obtenidos por medio de la técnica MIN-MAX. La observación de los datos brutos en la figura 3.

En este caso, tal y como ocurre con Mariana, la variabilidad se mantiene presente a lo largo de toda la trayectoria.

Durante las primeras cincuenta mediciones es observable una oscilación en los valores mínimos, que tienden a concentrarse entre los valores uno (1) y dos (2), con algunas cortas excepciones, que se muestran en los valores tres (3) y cuatro (4), las cuales no alcanzan a adquirir el carácter de concentración.

Por otra parte, la línea de máximos para este mismo segmento, muestra una pequeña concentración en niveles altos, especialmente en torno al valor nueve (9), la cual contrasta con fuertes descensos que generan algunos "valles" en los valores cuatro (4), seis (6) y siete (7).

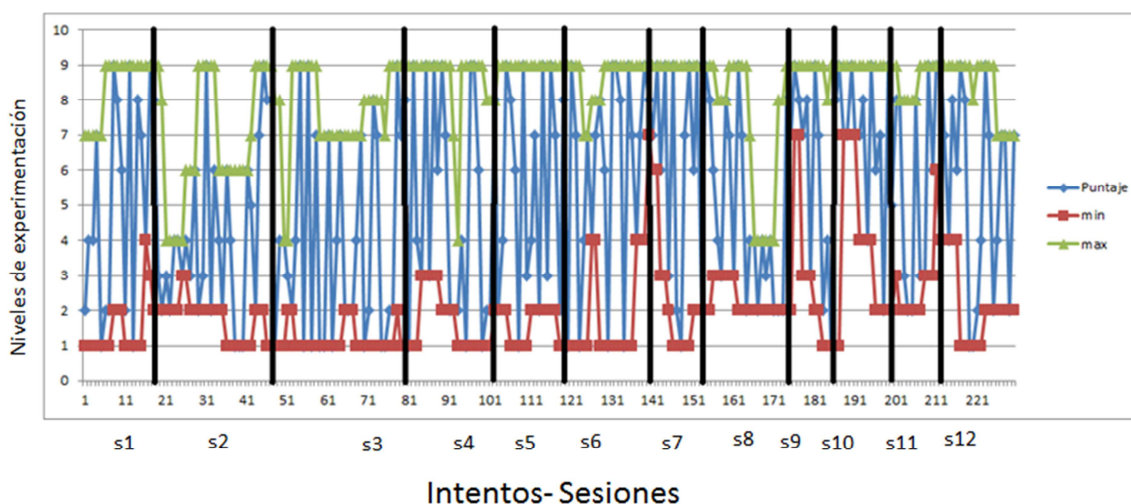


Figura 3. Rangos de variabilidad Jerónimo

En el caso de Jerónimo, tal y como ocurre con Mariana, la variabilidad se mantiene presente a lo largo de toda la trayectoria.

Durante las primeras cincuenta mediciones es observable una oscilación en los valores mínimos, que tienden a concentrarse entre los valores uno (1) y dos (2), con algunas cortas excepciones, que se muestran en los valores tres (3) y cuatro (4), las cuales no alcanzan a adquirir el carácter de concentración.

Por otra parte, la línea de máximos para este mismo segmento, muestra una pequeña concentración en niveles altos, especialmente en torno al valor nueve (9), la cual contrasta con fuertes descensos que generan algunos "valles" en los valores cuatro (4), seis (6) y siete (7).

La transición entre el segmento correspondiente a los valores de cero (0) y cincuenta (50), y el segmento correspondiente a los puntajes entre cincuenta (50) y cien (100) presenta un descenso hasta el valor de cuatro (4), siendo la posición previa ocho (8) y la siguiente nueve (9).

En el segmento correspondiente al espacio entre cincuenta (50) y cien (100) se hace más marcada la concentración de los mínimos en el valor de uno (1), con algunos ascensos del rango al valor de dos (2), y al valor de tres (3), los cuales, sin embargo, no son tan concentrados o extensos en el tiempo como los primeros.

En cuando a los máximos, se observan dos agrupaciones fuertes en torno al valor nueve (9), acompañadas de descensos pronunciados alrededor de los valores siete (7) y ocho (8), los cuales se mantienen por una extensión considerable de tiempo. También se observan descensos, aún más dramáticos, como el que inicia el segmento, que se encuentra en el valor cuatro (4), pero estos no alcanzan la duración en el tiempo de los anteriores.

En el segmento de mediciones que va de cien (100) a ciento cincuenta (150) se mantiene una tendencia similar a la del segmento anteriormente descrito, excepto por un ascenso pronunciado en la línea de mínimos que tiene lugar cerca al valor ciento cincuenta (150). Dicho ascenso marca el final de las concentraciones extensas en el tiempo en torno al valor uno (1). Así mismo, en este segmento no se presentan descensos fuertes en la línea de máximos, y la tendencia general es a la concentración en torno al valor nueve (9).

Por último, en lo que respecta a las mediciones posteriores a ciento cincuenta (150), los ascensos de la línea de mínimos se hacen regulares, de modo que se reduce significativamente el rango de variación de la trayectoria. Por otra parte, en lo que concierne a la línea de máximos, salvo un esporádico descenso y concentración alrededor del valor cuatro (4), ésta tiende a mantenerse concentrada entre los valores nueve (9) y ocho (8).

En este caso, se replica el patrón identificado para Mariana. El rango de variabilidad tiende a ser menor hacia el último segmento, sin que por ello ésta deje de ser significativa.

3.1.3 Juan

A continuación se presentan los resultados de los rangos de variabilidad para el caso de Juan que fueron obtenidos por medio de la técnica MIN-MAX. La observación de los datos brutos en la figura 4.

Es posible observar un amplio rango de variabilidad a lo largo de la primera mitad del segmento que va de cero (0) a cincuenta (50). Este rango sólo se interrumpe debido a un ascenso de los puntajes mínimos en una concentración corta.

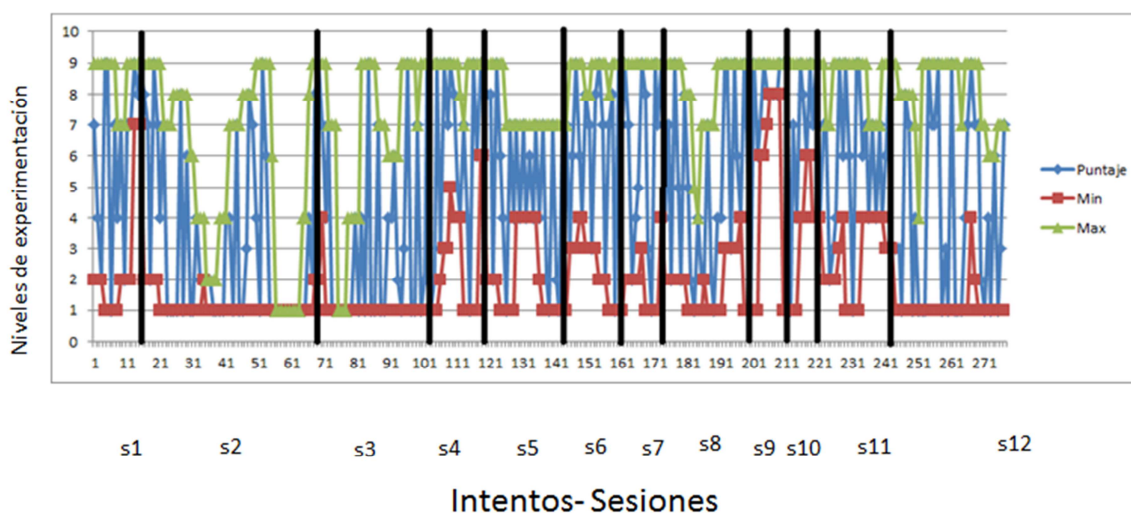


Figura 4. Rangos de variabilidad Juan

Un estrechamiento semejante del rango se observa cerca del final de este segmento. Sin embargo, dicho acortamiento tiene lugar en la parte inferior de la escala de medición, y se manifiesta por medio de un abrupto descenso de los máximos cerca del puntaje cincuenta.

En lo que respecta a los mínimos, se observa que estos tienden a acumularse en torno al puntaje uno (1), especialmente después de la segunda mitad del segmento que va de cero (0) a cincuenta (50).

Esta tendencia de los mínimos se mantiene a lo largo del rango que va de los puntajes de cincuenta (50) a cien (100), y contrasta con unas fuertes oscilaciones de los máximos, los cuales muestran descensos abruptos que se alternan con acumulaciones cortas en torno a los puntajes de nueve (9).

Entre el puntaje cien (100) y el puntaje doscientos (200) la mencionada oscilación se hace frecuente, pero en este caso recae sobre los mínimos, de modo que se transforma la tendencia observada en los dos segmentos anteriores. La trayectoria se caracteriza por ascensos y concentraciones cortas de los puntajes de mínimos alrededor de tres (3), cuatro (4) y dos (2), y de algunos cinco (5) y seis (6).

Para este segmento externo, los puntajes máximos tienden a estabilizarse y las concentraciones en nueve (9) sólo son interrumpidas por dos descensos, el primero de los cuales se encuentra en el puntaje siete (7), y el segundo, más pronunciado, pero también más corto, entre el puntaje siete (7) y el puntaje cuatro (4).

En el segmento comprendido entre el puntaje doscientos (200) y doscientos cincuenta (250) la tendencia del aumento de los mínimos se hace aún más marcada, y se generan concentraciones en torno a los puntajes cuatro (4), así como también dos fuertes ascensos de la línea de mínimos, la cual, en uno de los casos, llega incluso al puntaje ocho (8). En lo que respecta a los máximos la tendencia es similar a la del segmento anterior, y se mantiene cierta estabilidad en los puntajes resolutorios.

En el último segmento, que va del puntaje 250 hasta el final de la serie, se observa un cambio importante en las trayectorias. En el caso de los mínimos se observa una fuerte concentración alrededor de los puntajes uno (1), la cual rompe con la tendencia de ascensos de la línea de mínimos descrita anteriormente. Simultáneamente, la línea de máximos, que en una primera fase se acumula en torno a los puntajes nueve (9), tiende a descender con fuerza hacia el siete (7), lugar en el que termina concentrándose.

En consecuencia, en este caso el rango de variabilidad tiende a hacerse más estrecho sobre el final, debido al ascenso de la línea de mínimos y a la estabilización de los máximos. No obstante esta tendencia cambia significativamente cuando, hacia el final, la distribución se acerca a aquella que caracterizó los primeros segmentos.

3.1.4 Samuel

A continuación se presentan los resultados de los rangos de variabilidad para el caso de Samuel que fueron obtenidos por medio de la técnica MIN-MAX. La observación de los datos brutos en la figura 5.

Durante las cincuenta primeras mediciones la línea de máximos se caracteriza por pequeñas concentraciones en torno a los puntajes nueve (9), alternadas con descensos de siete (7) y ocho (8), e incluso cinco y cuatro hacia el final del segmento.

Por otra parte, en lo que respecta a los mínimos, se observa tendencia a oscilar en torno al puntaje cuatro (4), con descensos a los valores de tres (3), dos (2), y uno (1), presentándose una concentración fuerte alrededor de dos (2) hacia el final.

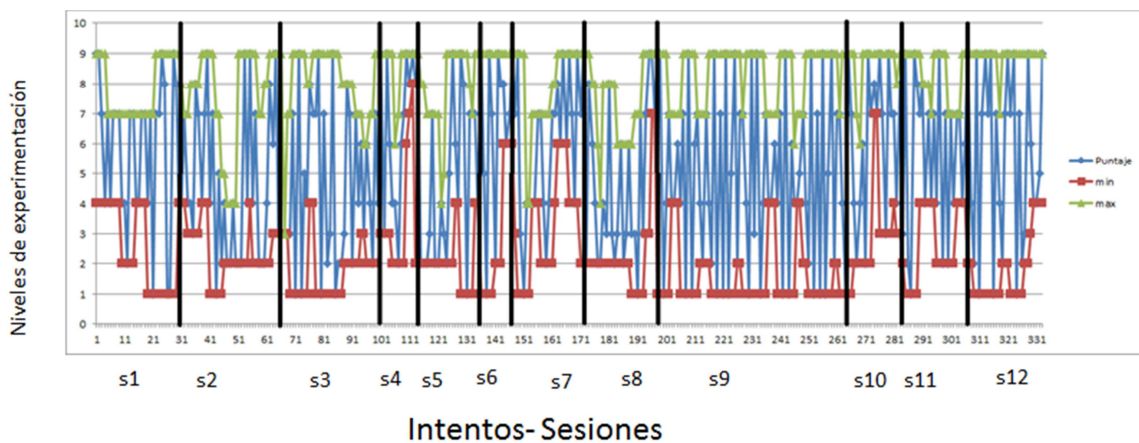


Figura 5. Rangos de variabilidad Samuel

El segmento que va de cincuenta (50) a cincuenta (150) presenta, con respecto a la línea de mínimos dos fuertes tendencias. La primera implica la tendencia a la concentración de los puntos en torno a los valores uno (1) y dos (2). Estas tendencias contrastan con repetidos ascensos de la línea, los cuales en general se concentran alrededor de los puntajes tres (3) y cuatro (4). Se presentan, además, dos ascensos esporádicos más, caracterizados por concentraciones muy cortas en torno a los valores de seis (6), siete (7) y ocho (8).

Pese a que los puntajes máximos mantienen una tendencia semejante a la descrita para el segmento anterior (oscilación), es posible observar, sin embargo, una ligera estabilización en la segunda mitad de este segmento, seguida de un fuerte descenso cerca del punto ciento cincuenta (150).

En el segmento entre ciento cincuenta y doscientos cincuenta se mantiene la tendencia de variabilidad del segmento anterior con respecto a los puntajes mínimos. Dicha tendencia, en este caso, se caracteriza por fuertes concentraciones en torno a uno y a dos, y por esporádicos ascensos hacia los puntajes de siete (7), dos de los cuales son bastante marcados.

En lo que concierne a la línea de máximos la tendencia es igualmente semejante a la anterior, pero se muestra ligeramente más estable, toda vez que no se aprecian los fuertes descensos descritos previamente.

Por último, en el segmento final no se aprecia ninguna variación significativa con respecto a las tendencias hasta aquí presentadas. Aunque los máximos tienden a concentrarse por lo general en puntajes resolutorios, se siguen presentando también fuertes concentraciones alrededor de los puntajes de mínimos de uno (1) y dos (2). El resultado de estas trayectorias es un rango de variabilidad que, por lo general, es alto, y no muestra una tendencia marcada hacia la estabilización.

Los datos obtenidos hasta aquí a partir de la técnica de Min Max dan cuenta de las trayectorias del desempeño de los sujetos junto con los rangos de variabilidad presentes a lo largo de dichas trayectorias.

En la generalidad de lo encontrado para los casos de los cuatro niños se observa una transformación en los rangos de variabilidad. Estos tienden a volverse más estrechos en términos de su ancho de banda, presentando menos concentraciones de mínimos en los puntajes bajos, y más concentraciones de máximos en los puntajes altos. Es importante señalar que pese a que se observa esta tendencia la variabilidad sigue existiendo con importantes anchos de banda a lo largo de todas las trayectorias.

No obstante, pese a estas tendencias locales de variabilidad identificadas a partir de esta técnica de graficación móvil, todavía no es posible dar cuenta de las transformaciones entre estados de atractor. Por tanto no es factible describir el funcionamiento cognitivo en términos de probabilidad de cambio.

Por ese motivo, se recurre a continuación a la técnica de Rejillas de Estado de Espacio, la cual resulta idónea para acceder a una descripción, a través de diferentes ventanas de tiempo, de la forma en que tienen lugar las transformaciones en el desempeño durante la experimentación.

3.2 Transiciones entre niveles consecutivos de experimentación observadas a partir de la técnica de Gráficas de Espacio de Estado.

En este apartado se usa la técnica de state space grids (rejillas de estado de espacio) para describir las transiciones de desempeño de los sujetos a través de los diversos niveles del funcionamiento de la experimentación. Se identifican los cambios a nivel de micro-desarrollo (es decir, los cambios que se presentaron entre los diversos objetivos, al interior de cada sesión). Estos cambios se manifiestan en la secuencia de estrategias de experimentación a través del tiempo.

La técnica de Space State Grid (Rejilla de estado de espacio) corresponde a la descripción de las trayectorias del desempeño de los sujetos, necesaria para la identificación de patrones de micro-desarrollo, y la descripción de los procesos temporales bajo la forma de estados de atractor.

En la figura 6 se presenta un ejemplo del funcionamiento de esta técnica. La situación hipotética de un desempeño de un niño en términos de la escala de niveles de funcionamiento de la experimentación. Suponiendo que para este caso puntajes posibles se ubicaran en un rango de 1 a 4 (simplificamos de 9 a 4 puntos con el objetivo de hacer más claro el ejemplo).

Cada punto del plano cartesiano para el eje "y" equivale al puntaje en un momento dado, mientras que para el eje "x" la ubicación corresponde al puntaje inmediatamente posterior a ese momento (el siguiente intento). Cada punto del plano presenta por tanto un momento de la transición. Así, para el primer punto de esta gráfica se observa que el niño inicia con un puntaje de 1, mientras que en el segundo intento obtiene un puntaje de 3.

En el siguiente punto de la trayectoria se observa que tras el puntaje 3 (que pasa a ser la coordenada "y" en el plano) se obtiene un puntaje de 1, y así sucesivamente. El resultado general se muestra en la secuencia de la tabla 3:

Intento #	1	2	3	4	5	6	7
Puntaje	1	3	1	1	4	4	2

Tabla 3. Secuencia de intentos y puntajes para la gráfica de estado de espacio

Adicionalmente la Gráfica de Estado de Espacio nos permite clasificar los tipos de transiciones. Si después de obtener un puntaje alto (3 o 4) se siguen obteniendo buenos puntajes se habla de transiciones altas. En la ventana estas transiciones se muestran en el cuadrante rojo.

En contraste, si después de obtener un puntaje bajo (1 o 2) se siguen obteniendo malos puntajes, se dice que las transiciones son bajas. En la ventana que se muestra en la figura 7 estos puntajes estarían ubicados en el cuadrante de color púrpura.

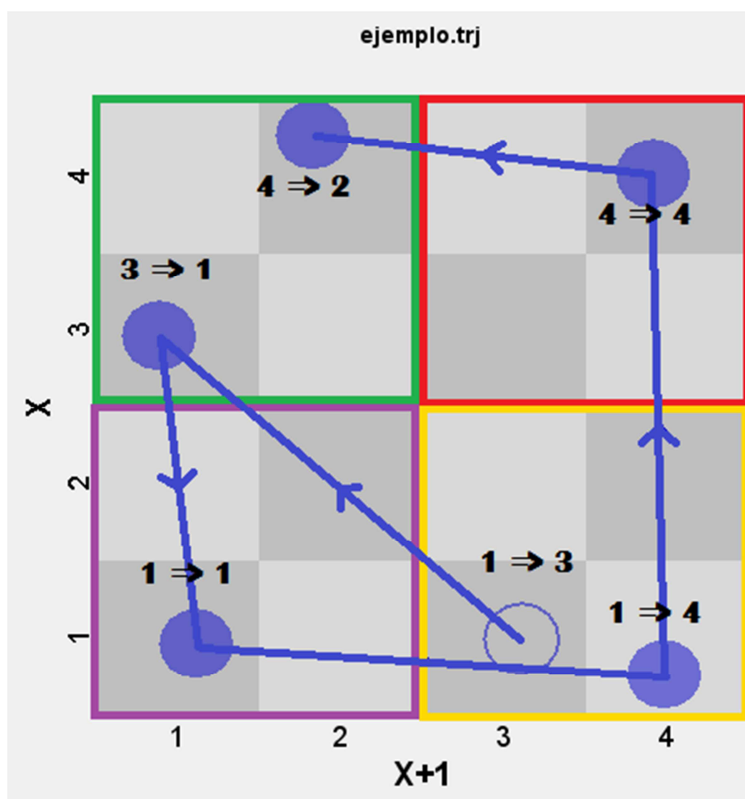


Figura 7. Ejemplo de rejilla de estado de espacio

Si después de obtener un puntaje bajo, el niño obtiene un puntaje alto, la transición puede ser clasificada como de incremento. En la gráfica estas transiciones corresponden a los puntajes que se encuentran dentro del cuadrante rojo.

Por último, si las transiciones van de un puntaje alto a uno bajo, la transición puede ser clasificada como de decremento. En la gráfica estas transiciones corresponden a los puntajes que se encuentran en el cuadrante verde.

3.2 Rejillas de estado de espacio

A continuación se presentan los datos correspondientes a las gráficas de estado de espacio relativas a los desempeños de los participantes. Dicha presentación se inicia con la descripción de las ventanas de tiempo para un conjunto de tres sesiones. Cada una de las figuras en las que se presentan las gráficas de estado de espacio viene acompañada por los datos numéricos correspondientes a las matrices de transición identificadas en el análisis. Posteriormente se describen los patrones de las trayectorias de desempeño que fueron identificados dentro de la tarea.

3.2.1 Matrices de estado de espacio para el caso de Mariana

Las siguientes ventanas (figura 8) corresponden a las ocasiones en que Mariana llevó a cabo las tareas por primera vez.

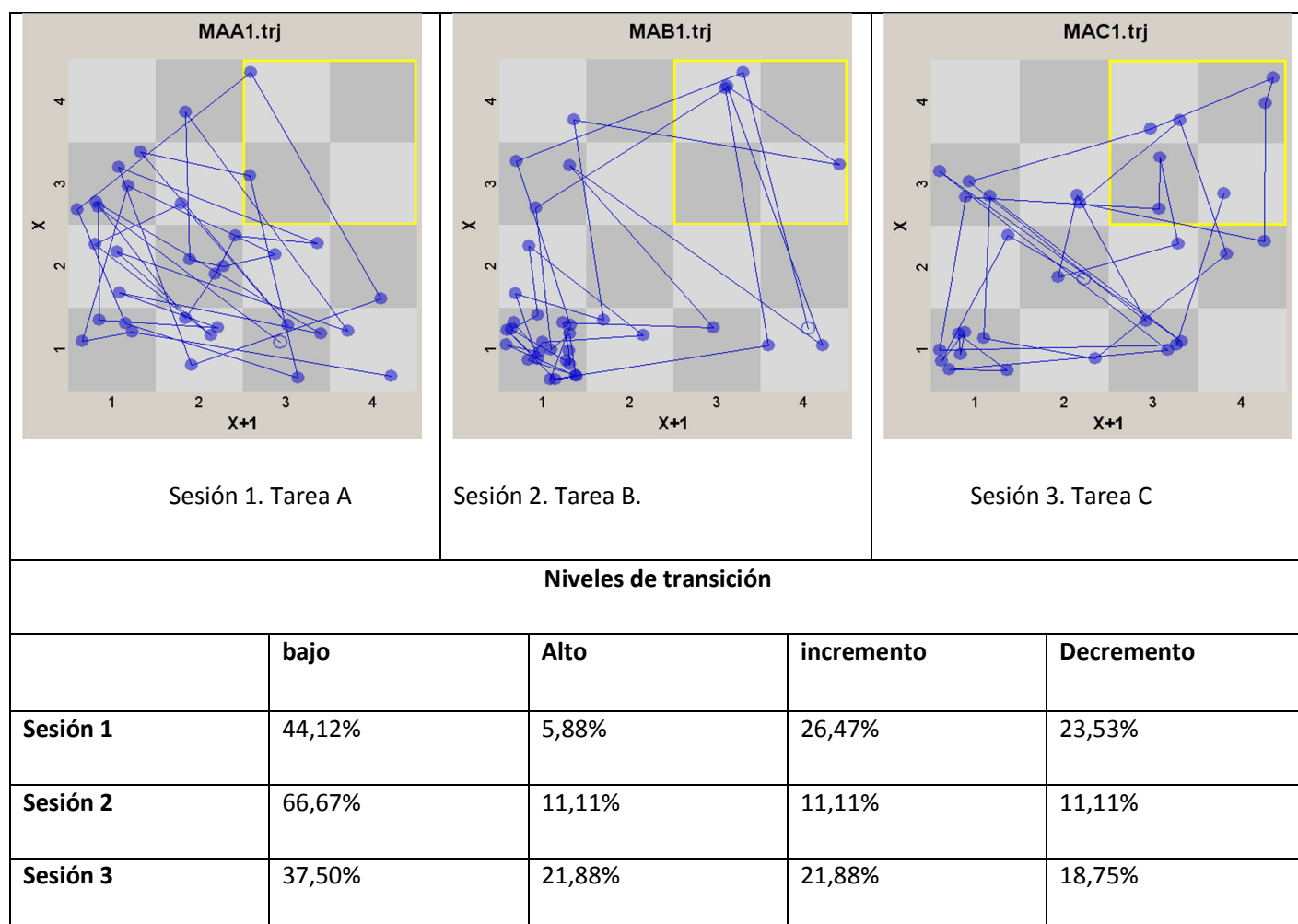


Figura 8. Sesiones 1 a 3

Al observar las tres primeras sesiones de Mariana, a través de la Rejillas de Estado de Espacio, es posible identificar trayectorias que, en general, son bastante dispersas. Dichas trayectorias tienden a concentrarse en el espacio de las transiciones de bajo nivel. Esta concentración es particularmente fuerte durante la sesión 2, tarea B (66,67%), y equivale al establecimiento de una zona de atractor.

En el segundo grupo de matrices (figura 9) aparece una transformación significativa en la distribución de los puntos de la trayectoria, especialmente durante las sesiones 4, tarea A (45,45%) y 6, tarea c (66,67%). A este respecto,

en términos generales, se observa una redistribución de los puntos a través de la rejilla de estado de espacio, y una disminución significativa de los puntos de trayectoria, lo que indica un desempeño superior. Tal movilización del sistema puede interpretarse como una fase de transición hacia la zona de atractor de transiciones altas, a partir del estado de atractor descrito en la tríada de ventanas anterior.

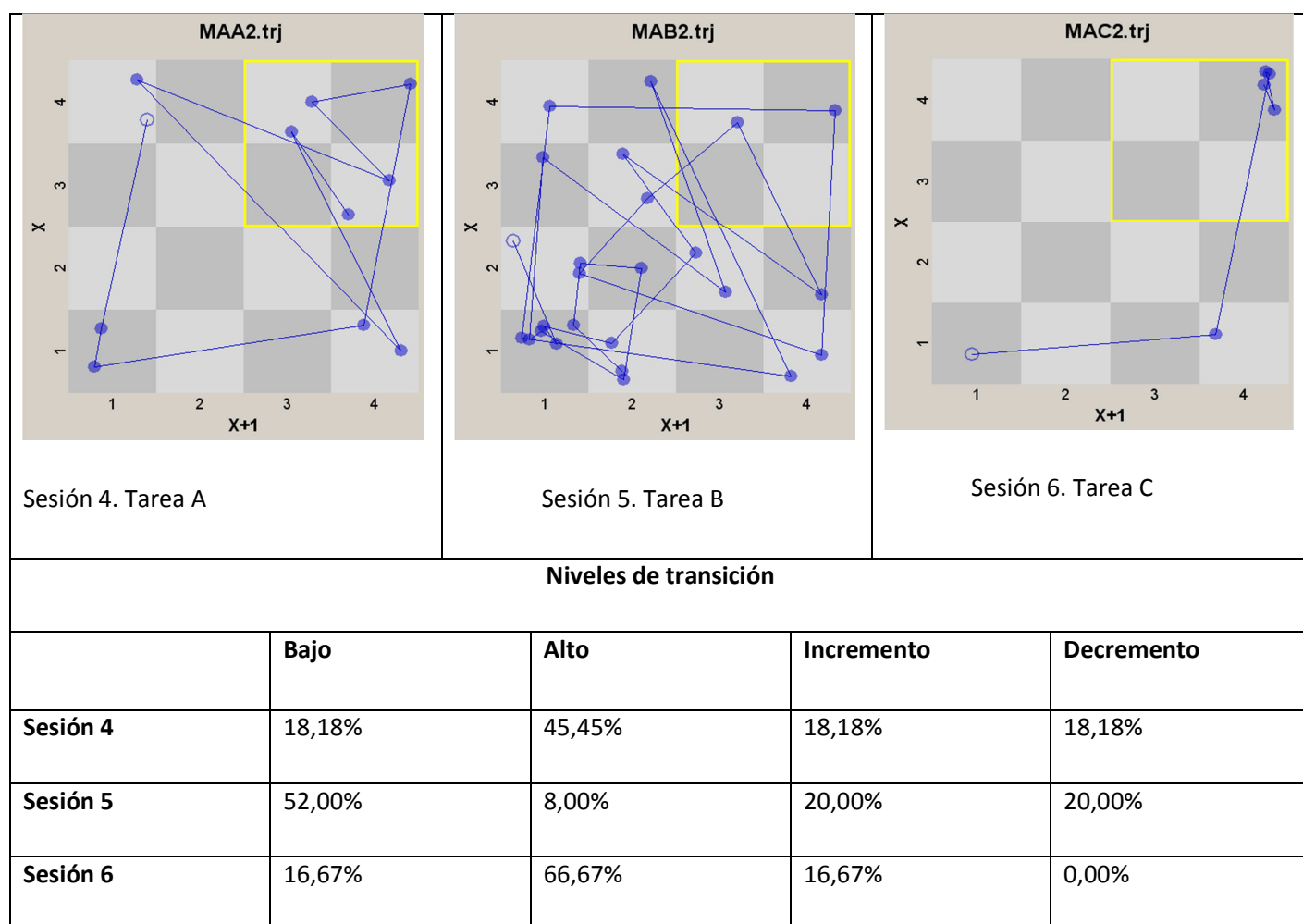
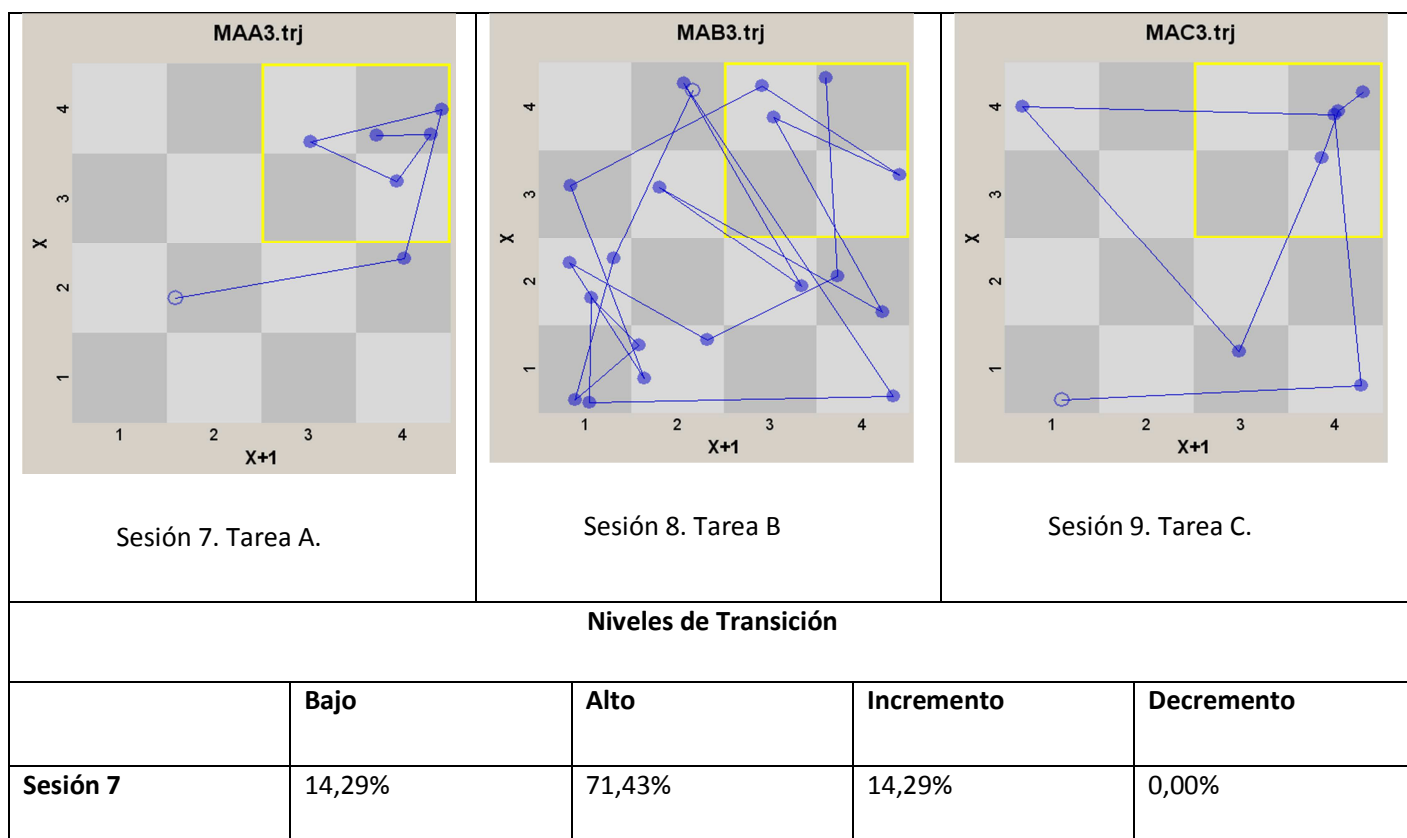


Figura 9. Sesiones 4 a 6

Sin embargo, no se debe soslayar el hecho de que esa tendencia no es tan marcada para la sesión 5, en la que se sigue presentando una concentración significativa de puntos de trayectoria, aunque, si se la compara con la sesión número 2, se puede observar que la concentración en zona de atractor de bajas trayectorias se reduce ligeramente (52%).

En las sesiones 7, 8 y 9 (figura 10) se manifiesta una tendencia semejante a la serie anterior, aunque se marca todavía más en términos de la concentración de los datos en niveles altos de transición. Complementariamente, la reducción de puntos de trayectoria en el gráfico de estado de espacio indica una estabilización del desempeño en niveles de funcionamiento superior. Esta estabilización, al igual que ocurre en la serie anterior, vuelve a ser más clara para las sesiones 7, tarea A (71,43%) y 9, tarea C (51%), y no así para la sesión 8, tarea B (20% en nivel alto, y 40% en nivel bajo).

Se observa, por tanto, una tendencia a que aumente la probabilidad de altos niveles de funcionamiento, lo que implica que la transición tiende, en este momento, hacia un nuevo estado de atractor que supone una movilización desde bajos niveles de desempeño hacia altos niveles de desempeño.



Sesión 8	40,00%	20,00%	20,00%	20,00%
Sesión 9	12,50%	50,00%	25,00%	12,50%

Figura 10. Sesiones 7 a 9.

En este último caso (sesión 8, tarea B) no se presenta una distribución de funcionamiento tan organizada (en términos de oscilar en niveles de funcionamiento superior), ni con tanta tendencia a la estabilidad. Simultáneamente, se manifiestan estados de funcionamiento bastante irregulares. Sin embargo, se observa una transformación con respecto a la sesión 5, en la que se presentó la tarea B por última vez. Como consecuencia de ello, se identifica dispersión en los niveles bajos de funcionamiento, y una distribución más pareja a lo largo de todo la gráfica de estado de espacio.

En las últimas 3 sesiones (figura 11) se identifica una transformación importante, especialmente en la sesión 11 (tarea B), en la que el patrón de la trayectoria por primera vez se concentra de manera evidente en niveles superiores de transición (55,33%) correspondiente a una zona de atractor de altos niveles de funcionamiento. Esta sesión es bastante similar a la sesión 10 y 12 (tareas A y C), en las cuales, paradójicamente, se observa una distribución mucho más irregular que en las sesiones precedentes (sesión 7 y sesión 9).

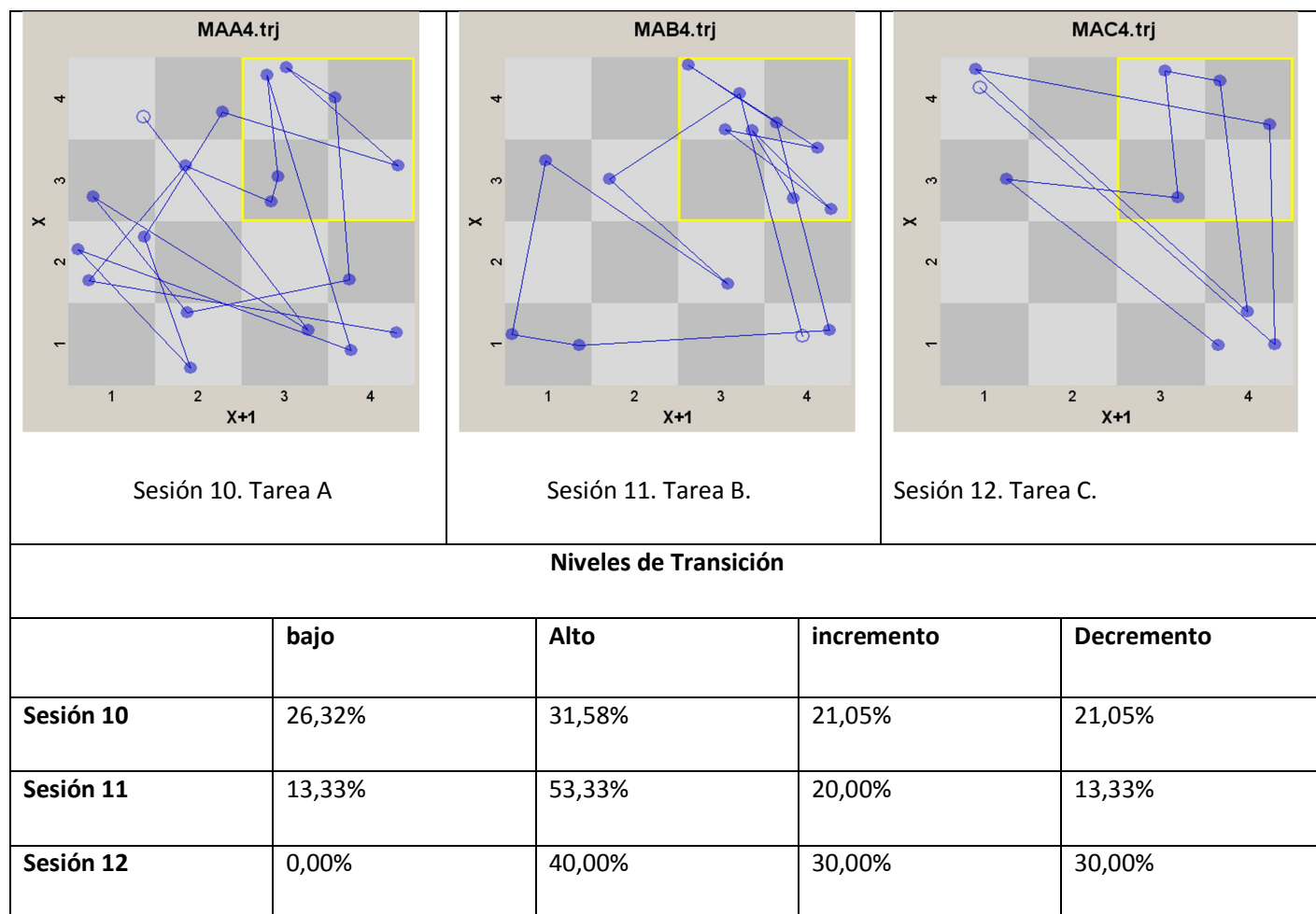


Figura 11. Sesiones 10 a 12.

En estos casos, pese a que se presenta cierta concentración de los puntajes de las trayectorias en niveles de funcionamiento superior, éstas aparecen distribuidas de manera mucho más irregular, describiendo una especie de “retroceso” en la distribución de los datos.

En síntesis, lo que se observa es cómo la variabilidad actúa, a través de itinerarios no lineales, en función de la movilización del sistema a lo largo de las sesiones hacia una zona de atractor caracterizada por altos niveles de funcionamiento.

3.2.2 Matrices de estado de espacio para el caso de Jerónimo

En el caso de Jerónimo, durante las tres primeras sesiones (figura 12), se observa, en general, una dispersión significativa de los puntos a través de las trayectorias. Esto ocurre especialmente en las sesiones 2 y 3 (tareas b y c). Es decir, la variabilidad es alta, aunque, no obstante, se presenta cierta tendencia a que exista más probabilidad de concentración de las trayectorias en una zona de atractor similar, pero más inestable, que aquella identificada en el caso de Mariana para el mismo momento. Pese a esta mayor dispersión e inestabilidad, es claro que dicha zona de atractor está caracterizada por ubicarse en el cuadrante de los niveles de funcionamiento bajos (sesión 1: 24%; sesión 2: 50%; sesión 3: 44%) .

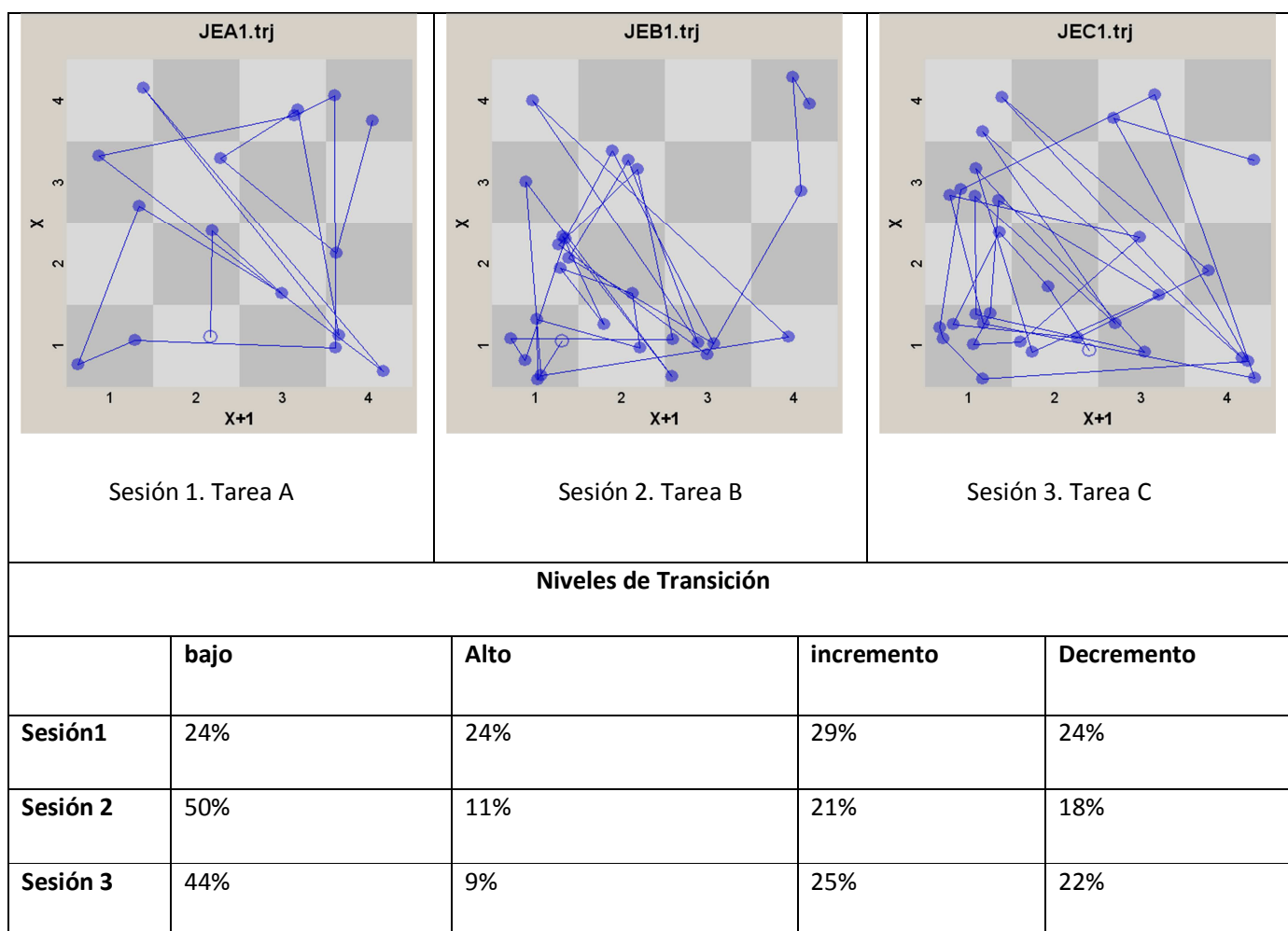


Figura 12. Sesiones 1 a 3

Durante las sesiones 4, 5 y 6 (Figura 13) sigue observándose una distribución de los datos en la que los puntos que aparecen no registran un patrón claro y se distribuyen a todo lo largo y ancho de la gráfica de espacio de estado.

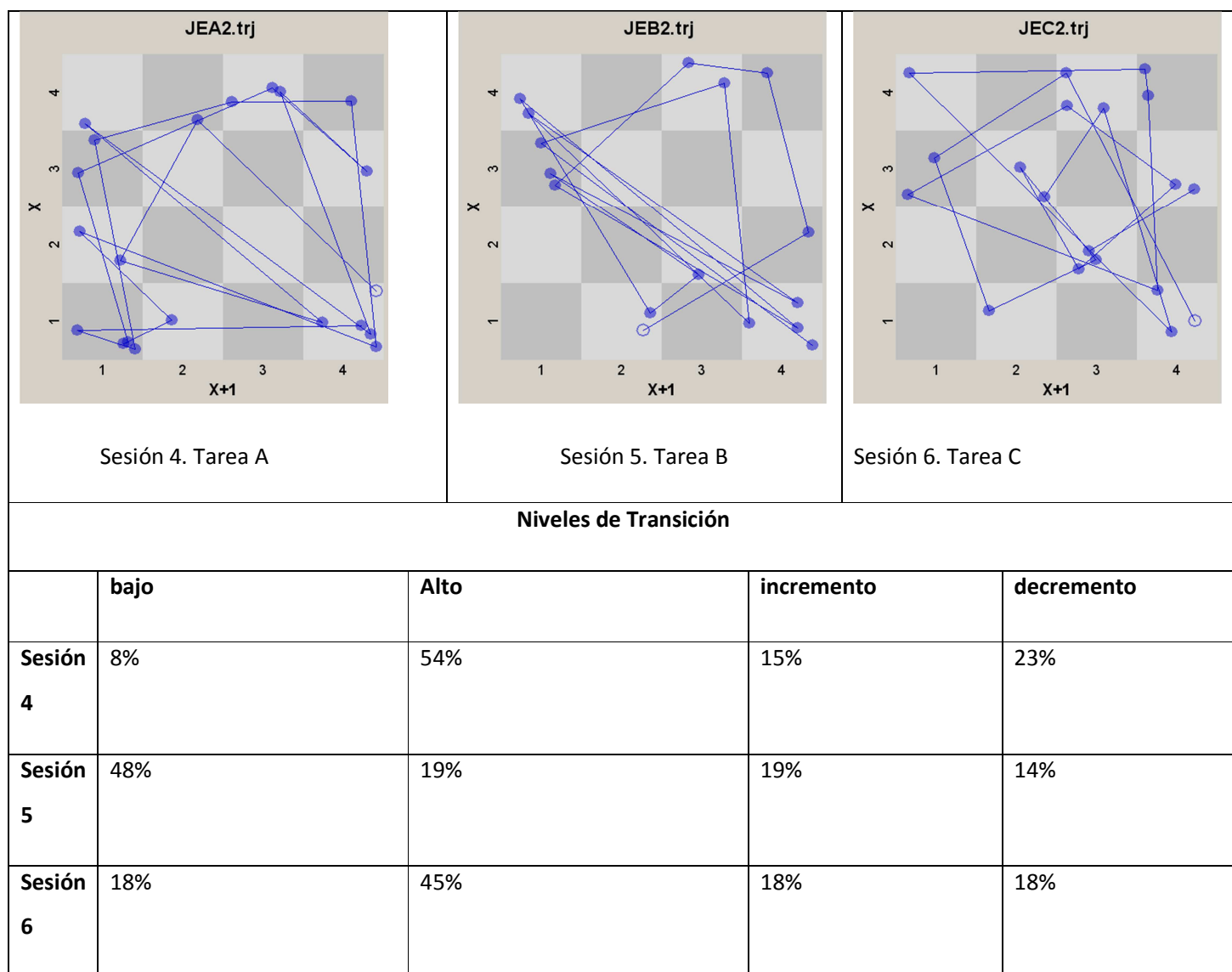


Figura 13. Sesiones 4 a 6.

En la sesión 5 (tarea b) se nota una oscilación importante de los puntos de la trayectoria entre transiciones de decremento (19%) e incremento (19%), lo que implica unos niveles altos de variabilidad.

Por otra parte, en las sesiones 7 (62%) , 8 (33%) y 9 (33%), que se muestran en la figura 14, se observa una estabilización en los patrones de desempeño, con una ligera tendencia del sistema hacia el aumento de la probabilidad de niveles altos de funcionamiento, lo que implica una transición hacia la zona de atractor que corresponde a dichos niveles.

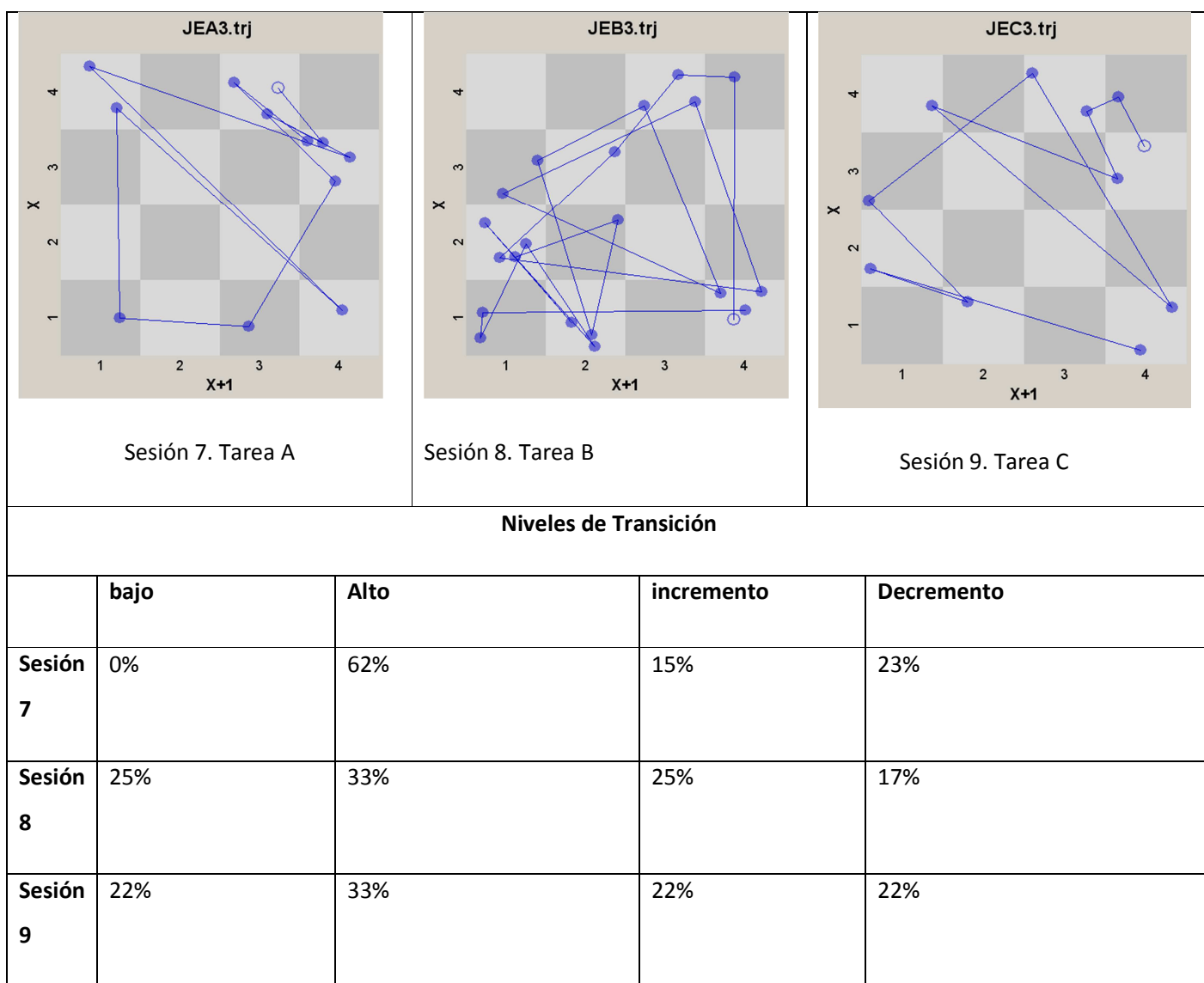


Figura 14. Sesiones 7 a 9

En la sesión 7 (tarea a) se manifiesta una concentración de los puntos en niveles altos de desempeño, lo que contrasta con los otros espacios de la rejilla, y reafirma, para este momento, el aumento de la probabilidad (62%) que corresponde a la zona de atractor mencionada anteriormente.

Al mismo tiempo, se observa una reducción significativa del número de intentos, lo que implica un desempeño más regulado. La distribución de esta sesión es semejante a la de la sesión 9 (tarea c), mientras que en la sesión 8 (tarea b) se observa una concentración significativa de datos en los niveles de desempeño bajos (25%), y, en contraste con la sesión anterior, desaparece la oscilación.

Por otra parte, en las últimas tres sesiones (figura 15) la tendencia a la estabilidad se sigue manifestando, especialmente en la sesión 10 (tarea a), y en la sesión 11 (tarea b). Este último caso, al ser comparado con la sesión precedente en la aplicación de la misma tarea (sesión 8), presenta una transformación en la distribución tendente a concentrar los puntos en niveles altos de desempeño (53,33%), replicando la tendencia general apreciada previamente en el caso de Mariana, y consistente en que el sistema sigue un itinerario no lineal —debido a la variación constante de las trayectorias— que se orienta hacia zonas de atractor caracterizadas por altos niveles de funcionamiento durante las últimas sesiones de experimentación.

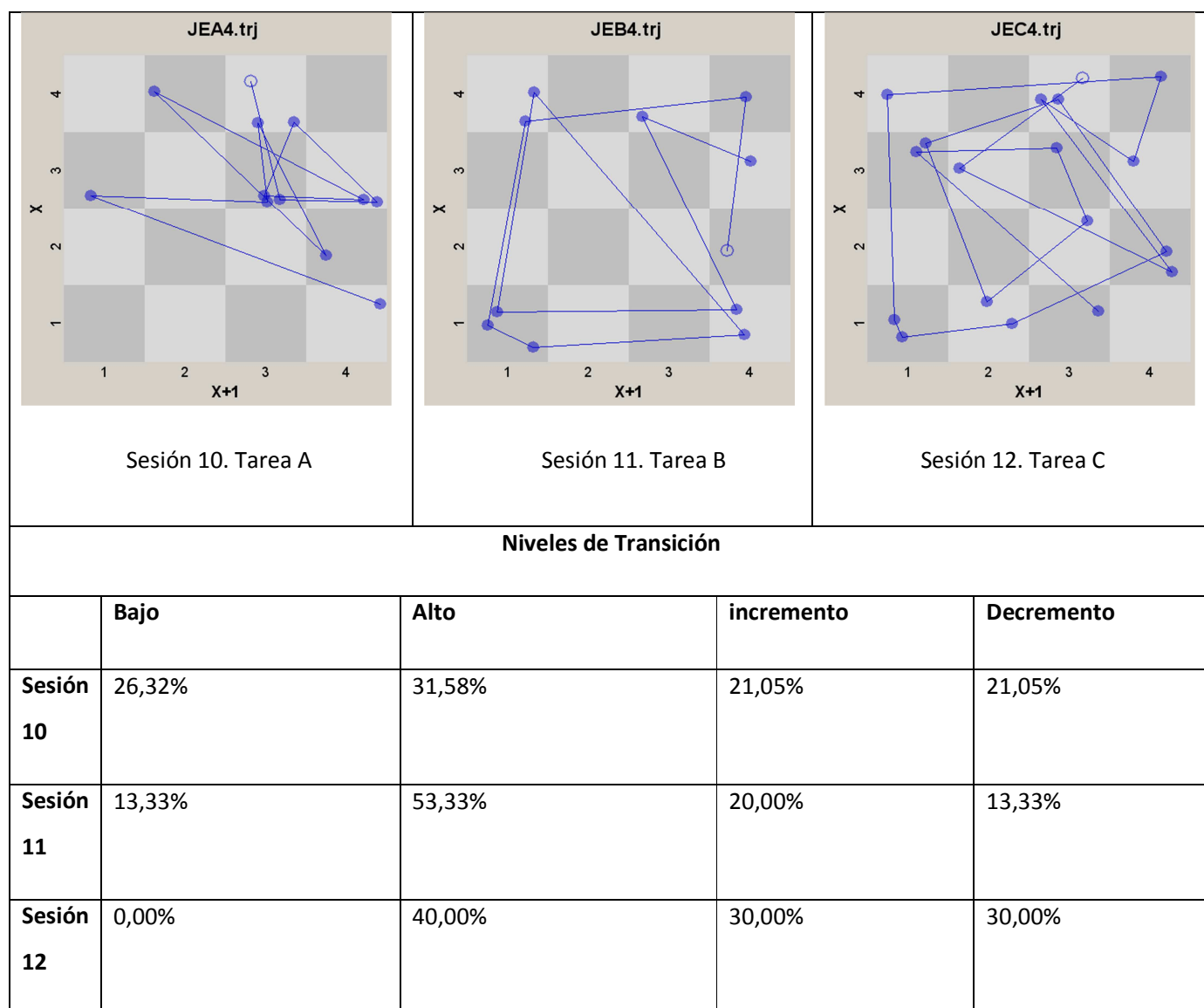


Figura 15. Sesiones 10 a 12.

Por último, la sesión 12 (tarea c) describe una trayectoria irregular. Sin embargo, debe señalarse que el desempeño durante esta sesión no es tan irregular como el que caracterizó a la primera vez que se presentó la misma tarea (sesión 3), a pesar de que en esta última sesión no se hace evidente una concentración puntual de datos en ninguno de los sectores de la Rejilla de Estado de Espacio.

No obstante, la reducción de intentos, que se manifiesta bajo la forma del decremento de puntos en la trayectoria, da cuenta de un desempeño más regulado en términos generales, el cual va de la mano con la presencia de variabilidad.

3.2.3 Rejillas de estado de espacio para Juan

En las primeras tres rejillas de estado de espacio de Juan (Figura 16) se observa una diferencia importante entre la sesión dos (2) y la sesión tres (3) en contraste con la sesión uno (1). Dicha diferencia consiste en que las sesiones tres (3) y dos (2) presentan una concentración significativa de puntuaciones en el cuadrante de transiciones bajas (55% y 63%, respectivamente), mientras que la sesión uno (1) sólo presenta uno de estos puntajes, y una distribución que oscila entre puntajes ascendentes y altos.

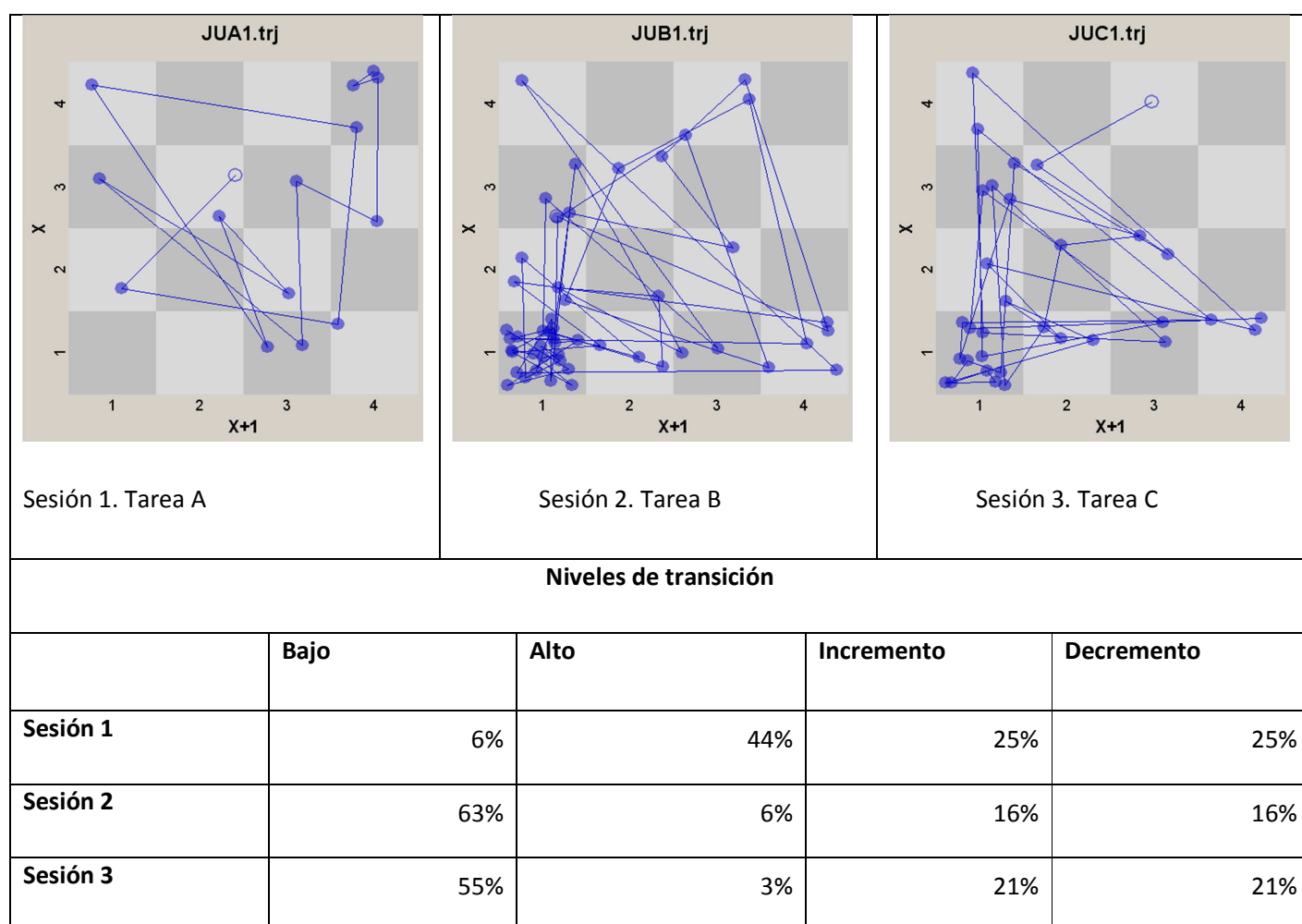
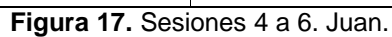


Figura 16. Sesiones 1 a 3. Juan.

Las tres sesiones (cuatro, cinco y seis) presentan semejanzas en los que respecta a las tres tareas, sobre todo en la medida en que las trayectorias se distribuyen a lo largo de toda la rejilla de estado de espacio.



En contraste con lo anterior, durante la sesión cinco, tarea B, no se observa una concentración de datos tan fuerte en el área de transiciones altas (7%) como las que caracterizan a las sesiones cuatro (33%) y seis (43%).

En las siguientes tres sesiones (siete, ocho y nueve, que se presentan en la figura 18) la tendencia para la tarea se mantiene, y se marca de manera importante la zona de atractor sobre las transiciones altas (40%, 9% y 75%, respectivamente).

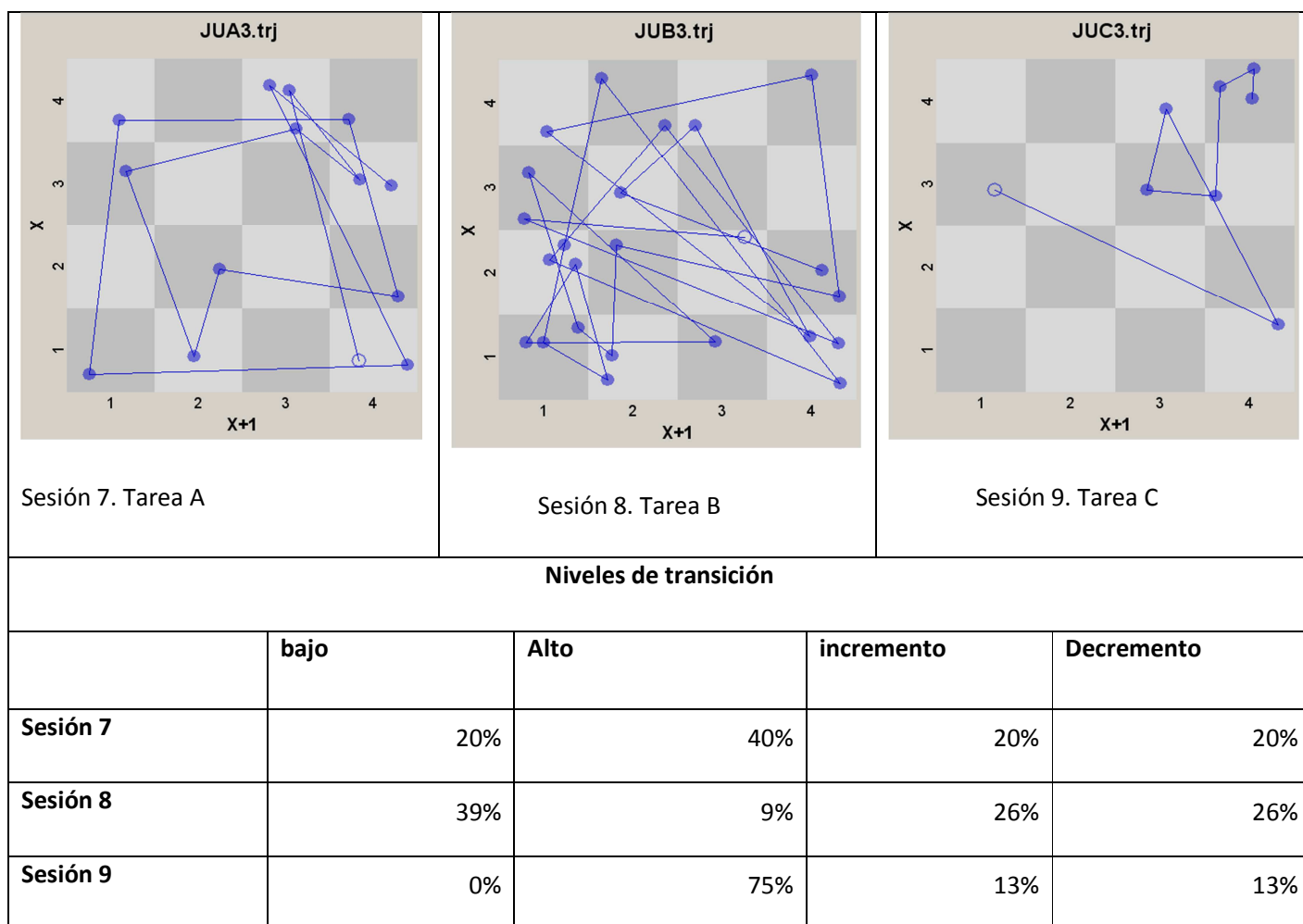


Figura 18. Sesiones 7 a 9. Juan.

En contraste con lo anterior, se aprecia que en la sesión ocho, tarea B, existe un retorno a la zona de atractor de transiciones bajas (39%).

Finalmente, durante las últimas tres sesiones (figura 19) se observa que, aunque las tendencias anteriormente descritas se mantienen para la sesión diez, tarea A

(60% para transiciones de nivel alto), esto cambia con respecto a la sesión doce, tarea C, en la cual se manifiesta un evidente retorno al atractor de transiciones bajas (47%), que está acompañado de una tendencia a la concentración de los puntajes en las áreas de incremento (18%) y decremento (15%).

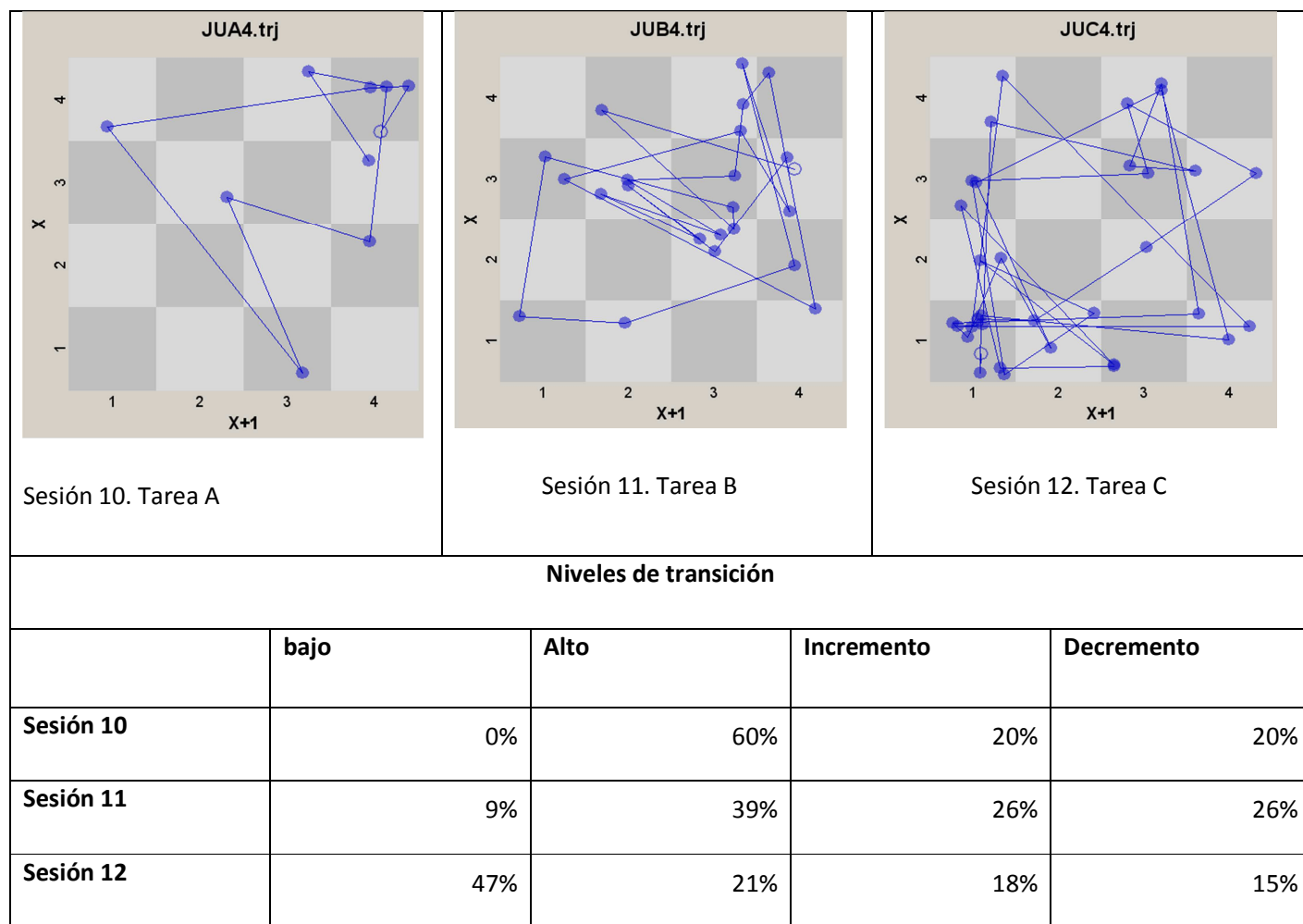


Figura 19. Sesiones 10 a 12. Juan.

En la sesión once, tarea B, aparece un movimiento en el que los puntos se alejan de la zona de atractor de transiciones bajas (9%), redistribuyéndose hacia transiciones de nivel superior (39%), las cuales, pese a seguir presentándose variabilidad, muestran una mayor estabilidad en términos generales.

3.2.4 Rejillas de Estado de Espacio para Samuel

Durante las primeras tres sesiones (figura 20) de Samuel no se observa un patrón claro en las trayectorias, que se caracterizan por ser bastante extensas y distribuirse a lo largo de toda la rejilla de estado de espacio. Esta tendencia se hace más fuerte en las sesiones dos y tres, tareas B y C, respectivamente. A ello se suma la escasez de puntuaciones en el área que correspondería a la zona de atractor de transiciones altas (31%, 13% y 11%, respectivamente). En consecuencia, se manifiesta una gran variabilidad en el sistema.

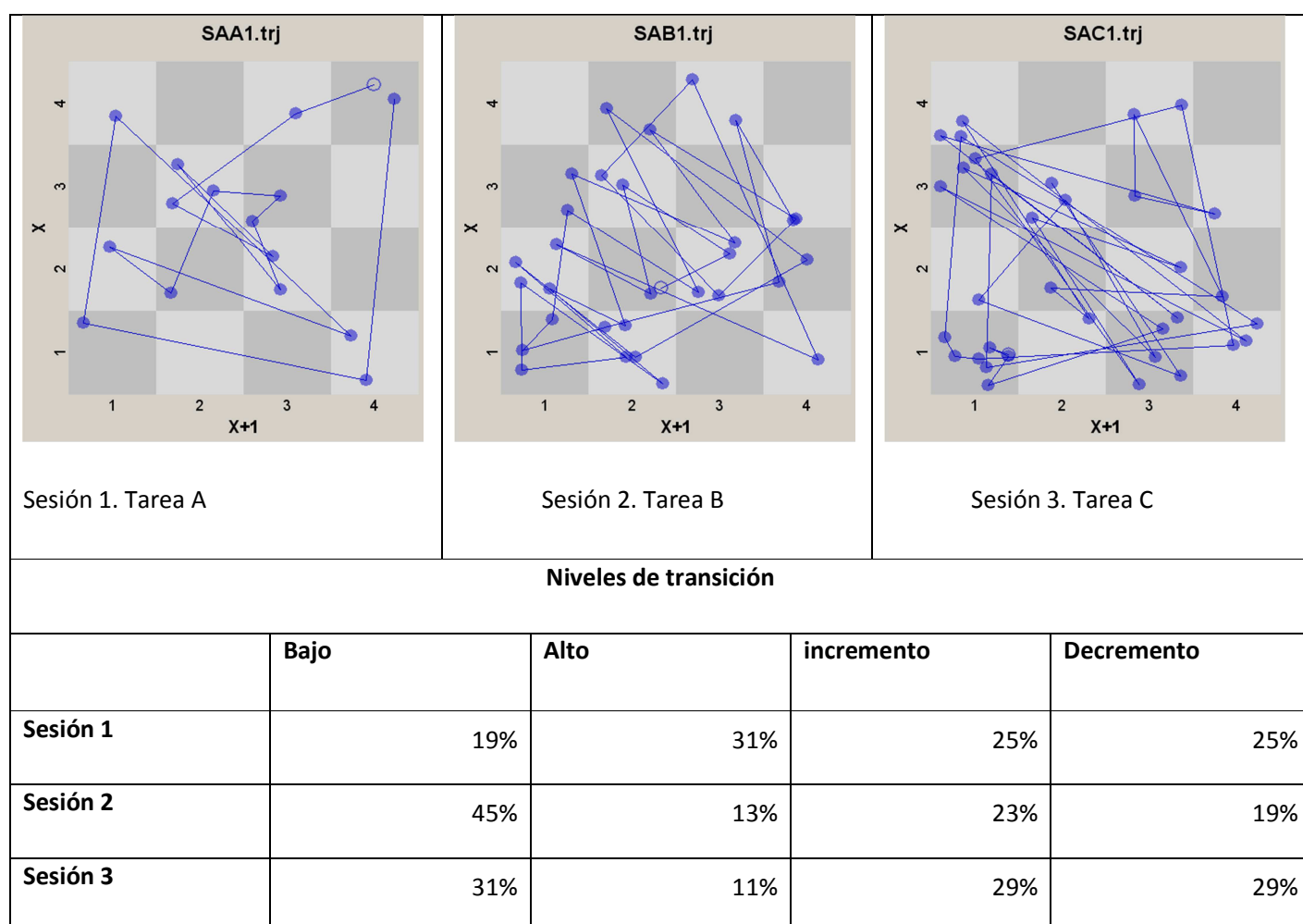


Figura 20. Sesiones 1 a 3. Samuel.

En las tres sesiones siguientes (figura 21) se presenta, en general, una reducción importante de los puntos de las trayectorias. Esto ocurre especialmente en las sesiones cuatro y seis, tareas A y C, respectivamente.

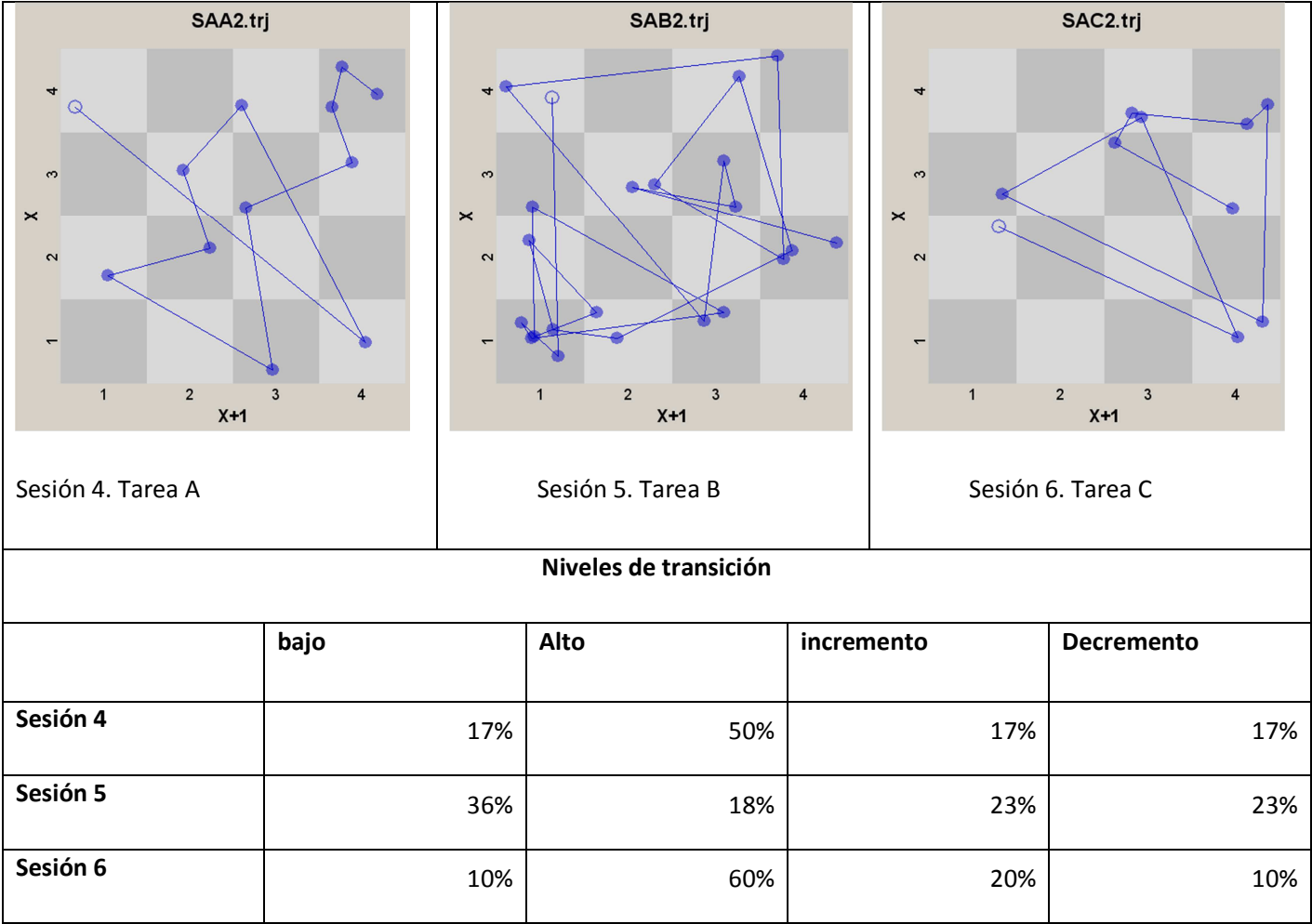


Figura 21. Sesiones 4 a 6. Samuel.

En las últimas dos sesiones se observa un movimiento hacia la zona de atractor de transiciones altas (sesión 4: 50%; sesión 6: 60%). En contraste, la sesión cinco, aunque no muestra una variabilidad tan alta como la que caracteriza a la sesión dos, tarea B, presenta una redistribución de los puntos de la trayectoria, que se aleja ligeramente del área correspondiente a la zona de atractor de transiciones bajas (36%).

Por otra parte, a lo largo de las sesiones siete, ocho y nueve, tareas A, B y C, respectivamente (Figura 22), se observan trayectorias que vuelven a ser bastante extensas en comparación con las sesiones previamente descritas.

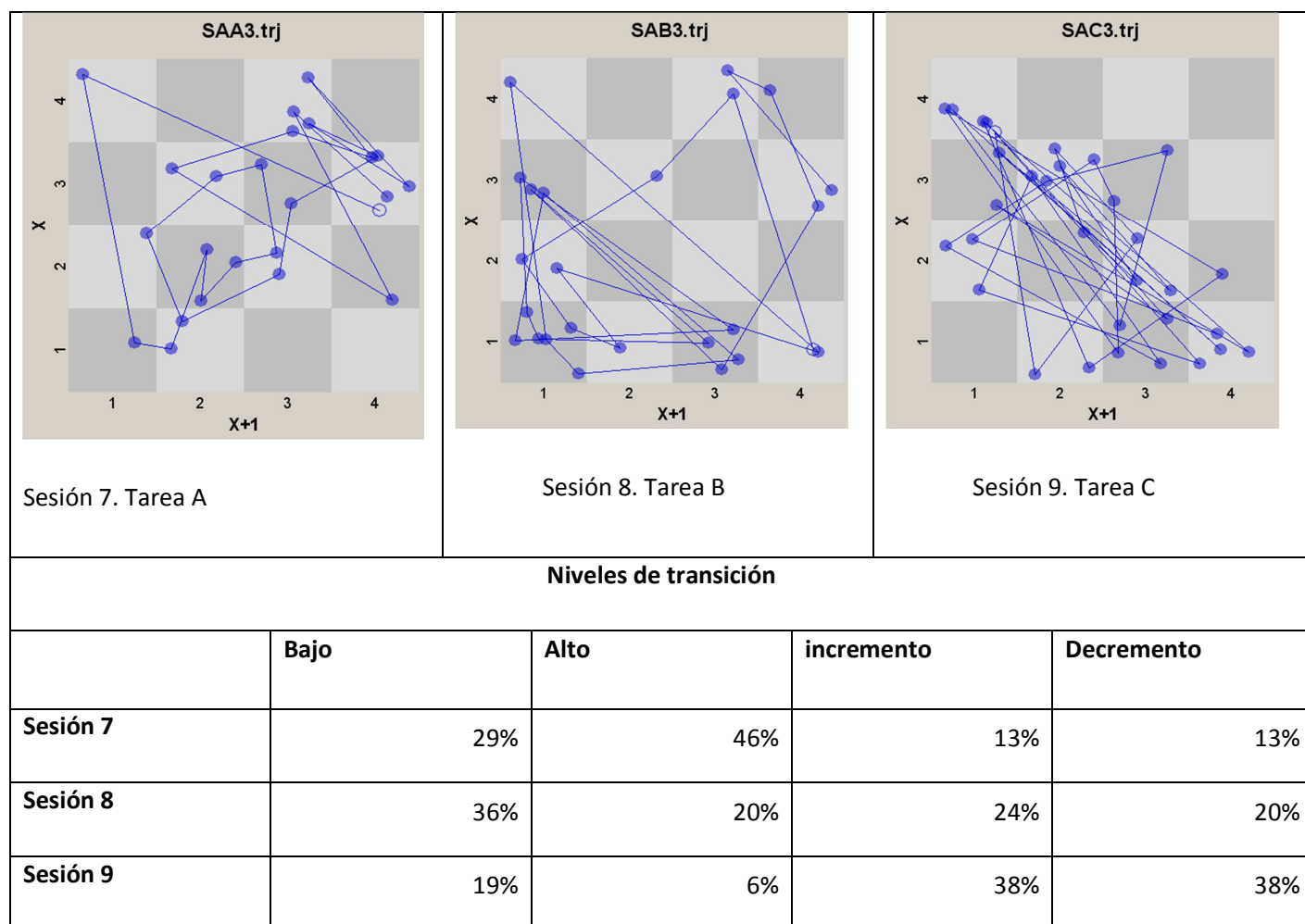


Figura 22. Sesiones 7 a 9. Samuel.

Las distribuciones van a lo largo y ancho de todas las rejillas de estado de espacio, lo que implica un aumento de la variabilidad, excepto en el caso de la sesión siete, tarea A, en la que se alcanza a identificar una fuerte condensación alrededor de la zona de atractor de transiciones altas (46%). Sin embargo, incluso en esta última sesión permanece la coexistencia con zonas de transiciones bajas (29%).

En las últimas tres sesiones (figura 23) se mantiene la tendencia anteriormente descrita, caracterizada por la presencia fuerte de variabilidad en las trayectorias.

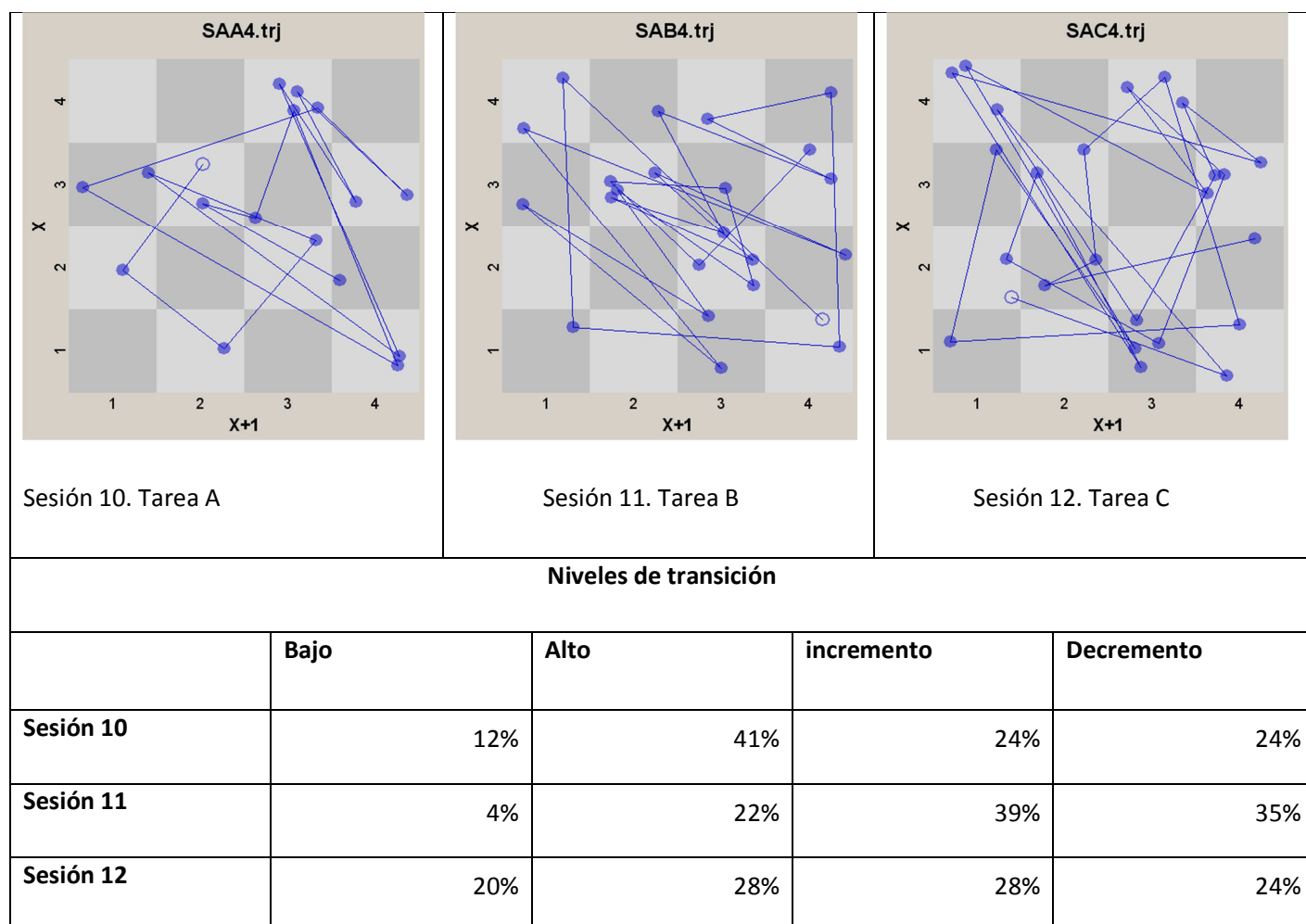


Figura 23. Sesiones 10 a 12. Samuel.

Las sesiones once y doce, tareas B y C, que están uniformemente distribuidas a lo largo de toda la rejilla de estado de espacio, contrastan con la sesión diez, tarea A, debido a que esta última presenta una concentración importante de puntos en torno a la zona de atractor de transiciones altas (41%). No obstante, en la sesión once se aprecia una reducción significativa en la zona de atractor de transiciones bajas (4%).

Síntesis

Una de las bondades de las rejillas de estado, como se pudo apreciar a largo de las 12 sesiones, es la posibilidad de visualizar de manera más precisa el cambio en las transiciones.

En primer lugar, en el caso de Mariana, se observó un claro incremento en transiciones de nivel *alto*, el cual se estabiliza a lo largo del tiempo, y se orienta, no linealmente, hacia el aumento de la probabilidad de funcionamientos dentro de la zona de atractor correspondientes a niveles altos de desempeño. Al mismo tiempo, se evidenció un decremento casi lineal de transiciones de nivel *bajo*. Las transiciones de "Alta Variabilidad" ('incremento' y 'decremento') son relativamente infrecuentes y en su mayor parte estables. Estas trayectorias dan cuenta de un aumento en los niveles de auto-regulación del sujeto en el funcionamiento de la experimentación.

En el segundo caso, que es el de Jerónimo, se observó una súbita caída de las transiciones de nivel *bajo*. Al mismo tiempo, se observó un incremento, en forma de S, de transiciones de nivel *alto*. Es decir, en este caso se presenta un cambio más abrupto que el característico de Mariana, en lo que respecta a la transición entre zonas de atractor. No obstante, el funcionamiento de la experimentación de Jerónimo también tiende a hacer más auto-regulado.

Alrededor del momento en que se presentó un cambio entre estas dos categorías —o, en otras palabras, cuando se presentó un repentino incremento en las transiciones de nivel *alto*, y una caída en las de nivel *bajo*—, pudo ser observado un incremento en los niveles de alta variabilidad (incremento y decremento). De este modo, la transición desde micro-transiciones de nivel *bajo* hasta micro-transiciones de nivel *alto*, se encuentra asociada con una mayor micro-variabilidad.

El caso de Juan presenta un patrón general de transiciones de variabilidad similar a los patrones propios de los dos casos anteriores (Mariana y Jerónimo), excepto en lo que respecta a las últimas dos sesiones, y especialmente la última,

en la que se presenta un retorno al funcionamiento característico de las primeras sesiones.

Por último, Samuel, da muestras de altos niveles de variabilidad a lo largo de todas las trayectorias. En este sentido, pese a que se pueden marcar o describir momentos en los que se generan ligeras tendencias del sistema a oscilar cerca de zonas de atractor propias de funcionamientos más equilibrados y estables en niveles de transiciones altas, el patrón general se caracteriza por la recurrencia a formas de funcionamiento más básicas.

Los tres primeros casos (Mariana, Jerónimo y Juan) son representativos de lo encontrado en el análisis general de los datos. Para todos los niños se identificó una disminución en las transiciones de nivel *bajo*. A lo anterior se suma el hecho de que en tres de los cuatro niños, se observó, a lo largo del tiempo, un incremento en las transiciones de nivel *alto*.

En el caso de Jerónimo, el número de transiciones de alta variabilidad se incrementa alrededor del momento en que se da el cambio entre las probabilidades para transiciones altas y bajas. A ello le sigue una ligera caída de la categoría, que puede ser interpretada como una forma de estabilización. Estos patrones son congruentes con los que se identificaron a través del análisis del desempeño entre sesiones, y coinciden con las trayectorias de micro-desarrollo.

4 Discusión

La pertinencia de la teoría de los sistemas dinámicos no lineales para el estudio de los procesos que caracterizan al micro-desarrollo en la experimentación en niños resulta muy ilustrativa en estos datos presentados. Técnicas de análisis de los SDNL tales como las gráficas de Min Max y las rejillas de estado de espacio, aplicadas a la descripción de las trayectorias de desempeño, dan cuenta de las funciones que cumple la variabilidad en el marco del micro-desarrollo.

La descripción de rangos de variabilidad obtenida a través de la técnica de Mínimos y Máximos permite describir trayectorias de desempeño, de manera que se evidencia la forma en que cambia la variabilidad a lo largo del tiempo. Además permite la identificación de tendencias locales y los rangos de variabilidad característicos de dichas trayectorias. Se pudo identificar que los rangos de los sujetos se modifican en amplitud y ubicación a lo largo de diferentes niveles de experimentación.

Tal y como se muestra en los resultados se hace posible caracterizar una transformación en los anchos de banda de las trayectorias. Los anchos de banda, que dan cuenta de los niveles de variabilidad, tienden a reducirse. Esta tendencia es común para los cuatro niños, pese a las características particulares de sus trayectorias. Pese a esta tendencia, es también posible identificar que la variabilidad está presente a lo largo de todas las trayectorias, dando cuenta de una variabilidad omnipresente en el desempeño de los niños en las tareas de experimentación.

Este carácter omnipresente de la variabilidad coincide con lo planteado por Puche-Navarro (2005), quien caracteriza a la variabilidad misma como una característica fundamental e inherente del pensamiento científico. A partir del análisis de las trayectorias de los niveles del funcionamiento de la experimentación, se pudo establecer que los rangos de variabilidad de los niños cambiaron en el tiempo. No obstante, estos cambios no fueron azarosos y permitieron evidenciar diferentes rangos de amplitud que cambiaron en función de la comprensión de los niños acerca de la tarea. Tal y como ha sido sugerido por diversos autores (Van Geert, 2003; Spencer & Perone, 2008; Puche-Navarro, 2012; Siegler, 2002), la variabilidad no representa un principio de desorden en el sistema. Por el contrario, es la forma en que opera un proceso de razonamiento que cambia y se re-organiza, aunque no linealmente.

El cambio en la variabilidad local, descrito a partir del análisis de la técnica de mínimos y máximos, estaría dando cuenta de cambios, re-organizaciones constantes y oscilaciones no lineales en el proceso de pensamiento científico del

niño, y en general mostrarían como el sistema avanza en términos de una estabilización dinámica. De esta manera, la variabilidad tendría un papel central en la medida en la que brindaría al sistema cognitivo la flexibilidad suficiente para cambiar en el tiempo.

De manera complementaria, los itinerarios descritos a partir de las rejillas de estado de espacio permitieron observar transiciones, en múltiples ventanas de tiempo a partir de las cuales se da cuenta del funcionamiento cognitivo en términos de probabilidad de cambio. Las dinámicas de concentración en ciertas partes del espacio en lo que respecta al funcionamiento de la experimentación (correspondientes a zonas de atractor) y de dispersión que responden a un patrón general de tendencia a la estabilización en la relación entre el sujeto y la tarea.

Dicha tendencia a la estabilización se puede observar a partir de una reducción importante en las transiciones de bajo nivel y un incremento en las de alto nivel. Debido a esto es posible confirmar que hay una complejización del sistema que no se podría describir como lineal, creciente o acumulativa.

Por ejemplo, para el caso de Mariana, en la tarea B las transiciones de incremento oscilan desde un 11.11% hasta un 20%, manteniéndose en este último porcentaje durante las siguientes tres sesiones. Luego el porcentaje de transiciones bajo la forma de decremento es de un 11.11%, subiendo posteriormente hasta un 20% durante las siguientes dos sesiones. Por último se reduce a 13.33%. Tendencias semejantes se pueden observar para los casos de los restantes niños en todas las tareas.

Al igual que en el caso de Mariana los otros niños muestran una tendencia a la reducción en las transiciones de bajo nivel, y un incremento de la probabilidad de aparición de transiciones de alto nivel. Sin embargo, se mantiene la presencia de transiciones de incremento y decremento durante todas las trayectorias.

Esta reducción se evidencia en la progresiva reducción de la probabilidad de la aparición de transiciones de bajo nivel, en la forma de valores de 0% dentro de las matrices de transición para las transiciones de bajo nivel.

Este tipo de datos permite caracterizar las trayectorias de micro-desarrollo en término de espacios probabilísticos tridimensionales. En estos espacios estarían definidos a partir de tres ejes. El eje X correspondería al tiempo, el eje Y correspondería al nivel de funcionamiento cognitivo, y el eje Z daría cuenta de la probabilidad de que el sistema oscile en adelante en torno a un determinado estado de atractor. En el caso del funcionamiento de la experimentación, se podrían describir reorganizaciones con patrón general de tendencia a la estabilización en la relación entre el sujeto y la tarea.

Esta estabilidad no equivale a la consecución de una meta final, la cual representaría un estado de organización final. Por el contrario, es una estabilidad dinámica y pese a alcanzar niveles superiores de estabilidad, no llega a ser estática. Lo que se manifiesta a través de los datos es que el sistema suele oscilar entre distintos patrones de organización durante las trayectorias y entre las sesiones, con momentos en los que se presentan aparentes retrocesos en la comprensión de la tarea por parte de los sujetos.

Durante este proceso se puede observar cómo se combinan las propiedades de estabilidad y dinamismo del sistema. Lo que se plantea es una estabilidad relativa (Thelen & Smith, 1998) pues existen fluctuaciones sobre un área de desempeño en la cual es más probable que opere el sistema cognitivo sin descartar la variabilidad que le es intrínseca, y sin que exista la posibilidad de que se establezca una forma de funcionamiento estática a partir de un nivel estable de desempeño.

Esto permite describir una forma de organización del sistema que conforme avanza la comprensión del niño acerca de la tarea, se re-ensambla generando nuevas formas de funcionamiento, las cuales inicialmente podrían ser consideradas como poco probables de emerger. Las rejillas de estado de espacio y las matrices de transición derivadas (ver cuadros que acompañan las figuras) muestran que la organización del funcionamiento cognitivo cambia a lo largo del tiempo. La alternancia entre niveles altos y bajos permite identificar estas dinámicas del cambio bajo la forma de atractores. Este cambio es, en algunas

ocasiones, gradual, y en algunas ocasiones súbito (tomando la forma de una ruptura abrupta).

Los datos sustentan la idea de que el desarrollo del funcionamiento de la experimentación es más un proceso no-lineal que una función lineal, regular y acumulativa a la que se sumaría cierto grado mayor o menor de variación aleatoria. El cálculo sobre la dimensión de cada avance o retroceso aporta soporte adicional al hecho de que el desarrollo de la experimentación es un proceso dinámico e iterativo. En este proceso cada siguiente paso (es decir, el alcance de un nivel dado), es una función del nivel precedente.

Esto se observa en como los desempeños tienden a no permanecer en un mismo nivel (mucho más de lo que se podría esperar con base en distribuciones aleatorias), y varían dentro de límites relativamente circunscritos. Esto se evidencia en las regularidades de los rangos de variabilidad descritos en las trayectorias arrojadas por la técnica de mínimos y máximos. Estos cambios, al ser entendidos en términos de probabilidad, a través de las matrices, proveen una interesante perspectiva de la variabilidad y el micro-desarrollo. Esto se debe a que permiten ir más allá de la idea de habilidades estáticas y adquiridas. Desde este punto de vista, y considerando estas probabilidades en términos de atractores, las características del cambio y de estabilidad presentes en el desempeño de los niños sustentan una interpretación de los datos que los asume como generados por un sistema dinámico complejo.

De ahí que, la concentración de las trayectorias en zonas de atractor parezca indicar que la tendencia a la estabilización se relaciona con la probabilidad de que los niveles de funcionamiento se hagan más altos. Esto indicaría la emergencia de desempeños más regulados y complejos en función de los requerimientos y la estructura de las tareas.

En este punto es importante señalar, tal y como se explicitó en los dos capítulos anteriores, que la naturaleza del fenómeno, en términos de las demandas de dominio específico, de la tarea o de los objetivos específicos no fue

suficientemente explorada. Es necesario explorar en futuros estudios, la influencia del contenido de la tarea en la variabilidad y comprensión y funcionamiento de la experimentación de los niños.

Por otra parte, es necesario explorar la coexistencia patrones de desempeño junto con la variabilidad al interior de las trayectorias. Dicha coexistencia, parece indicar que el funcionamiento de la experimentación es un proceso en el que confluyen la auto-regulación y constantes fluctuaciones a lo largo de las interacciones entre el sujeto y la tarea.

En términos del desempeño la comprensión del niño se va haciendo más compleja, pero está acompañada por la coexistencia de múltiples tipos de funcionamiento, tanto básicos y exploratorios como complejos y avanzados. Lo que se va transformando es la probabilidad de aparición de estos tipos de funcionamiento, que se manifiestan como estados preferidos del sistema o atractores. De esta forma, cuando se presentan cambios cualitativos, como en el caso de Mariana, estos no pueden separarse de las micro-transformaciones en tiempo real, que son producto de la interacción compleja entre el niño y la tarea. Así se explica el hecho de que los procesos de cambio a nivel del desarrollo parezcan manifestarse tenue y gradualmente (Puche-Navarro, 2003), aunque aparezcan de manera muchas veces aparentemente abrupta. Ambas características serían dinámicas que permiten la consecución de metas a través de itinerarios complejos.

Por tanto, los resultados muestran que continuidad y discontinuidad no se excluyen, sino que son dinámicas articuladas que determinan la forma en que se produce el cambio cualitativo. De esta manera, la evidencia del carácter continuo/discontinuo del cambio cualitativo en la experimentación parece implicar que la problemática teórica de la polaridad, señalada por Puche-Navarro (2008) puede ser superada desde una visión dinámica y no lineal del micro-desarrollo de la experimentación.

El cambio cualitativo equivale al alcance de estados de atractor y formas de auto-organización cuya emergencia se hace eventualmente más probable. Estas formas de autorganización, en el largo plazo, suponen una tendencia del sistema hacia formas de funcionamiento más estabilizadas en términos del pensamiento científico. Las configuraciones que se construyen en el transcurso de las trayectorias, y específicamente en lo que respecta a las descripciones longitudinales, marcan patrones individuales de desempeño que, aunque en términos generales siguen la misma tendencia, representan rangos y formas de funcionamiento diferentes.

Una de las posibles hipótesis tiene que ver con la auto-regulación del funcionamiento de la experimentación. Dicha autorregulación operaría a través de la emergencia de una progresiva sincronía entre los diversos niveles de funcionamiento y la demanda de la tarea. Esta sincronía genera una reducción de la variabilidad y la formación de atractores dentro de los niveles más altos de funcionamiento. De este modo se manifestaría una creciente comprensión del sistema por parte del niño.

Es posible hipotetizar, que esta auto-regulación no proviene de un control central o un meta-nivel, sino que es producto de la interacción entre los múltiples componentes del sistema cognitivo y la tarea, y de las múltiples iteraciones de información resultantes de los intercambios entre el niño y la situación problema. De esta manera, un control creciente del problema por parte del niño no se manifiesta en una mejoría lineal del desempeño sino en un incremento probabilístico de niveles de funcionamiento resolutorio por encima de niveles de funcionamiento básicos o exploratorios.

Adicionalmente, es posible reconocer la pertinencia de las descripciones longitudinales, combinadas con un abordaje micro-genético, que permiten capturar la dinámica del cambio del sistema. Los resultados obtenidos por estos medios dan cuenta de la sistematicidad no lineal del micro-desarrollo, y sientan las bases para integrar funcionalmente la evidencia de la discontinuidad y la de la continuidad características del desarrollo (Puche-Navarro, 2008).

Los resultados permiten plantear que el abordaje metodológico al que se recurrió en este estudio permite descompactar la dinámica que subyace a la problemática del cambio cualitativo, es decir, de la continuidad y la discontinuidad como características del desarrollo en un nivel macro, y en un nivel micro respectivamente. Este tipo de abordajes resulta adecuado para generar descripciones del cambio y el desarrollo que responden a los principios de la teoría de sistemas dinámicos no lineales. Esto se debe a que permite ver la forma en que la variabilidad está relacionada con la emergencia de las sucesivas auto-organizaciones del sistema, a lo largo de las cuales se dan las transiciones entre los diferentes estados de atractor.

Referencias

- Adolph, K.E., Robinson, S.R., Young, J.W., & Gill-Alvarez, F. (2008). What is the shape of developmental change? *Psychological Review*, 115, 527 – 543.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Children's acquisition and transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120
- Combariza, E., & Puche-Navarro, R. (2009). El uso de la wavelet para el estudio de los funcionamientos inferenciales en niños pequeños. En R. Puche-Navarro (Comp.), *¿Es la mente no lineal?* (pp. 111-133). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Cortés, M., Combariza, E., & Puche-Navarro, R. (2009) Entre Nubes y Relojes. En R. Puche-Navarro (comp.), *¿Es la mente no lineal?* (pp. 45-72). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- de la Rosa, A., Rodriguez, I.P., & Ossa, J.C. (2009). De los sistemas dinámicos no lineales al desarrollo cognitivo. *¿Es La Mente No Lineal ?* (pp.17-44). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle
- de la Rosa, E.A. (2012). *La metáfora verbal: entre la comparación y la creación*. Ponencia presentada en el 1er Encuentro Internacional de Lenguaje y Cognición. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fischer, K. W., & Bidell, T. R. (2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (6th ed., Vol. 1, pp. 313-399). New York: Wiley.

- Fischer, K. W., & Bidell, T. R. (2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (6th ed., Vol. 1, pp. 313-399). New York: Wiley.
- Fischer, K. W., & Yan, Z. (2002b). The development of dynamic skill theory. In R. Lickliter & D. Lewkowicz (Eds.), *Conceptions of development: Lessons from the laboratory*. Hove, UK: Psychology Press.
- Fischer, K. W., Yan, Z., & Stewart, J. (2003). Adult cognitive development: Dynamics in the developmental web. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.), *Handbook of developmental psychology* (pp. 491-516). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Fischer, K.W., & Bidell, T.R. (1998). Dynamic development of psychological structures in action and thought. En R. M. Lerner (Comp.), *Handbook of child psychology. Vol 1: Theoretical models of human development* (5th ed., pp. 467-561). New York: Wiley.
- Guevara, M., Puche-Navarro, R., (2009). ¿Se desarrolla y cambia la psicología del desarrollo hacia los sistemas dinámicos no lineales? *Avances en Psicología Latinoamericana*, 27, 327–342.
- Hollenstein, T. (2007). State space grids: Analyzing dynamics across development. *International Journal of Behavioral Development*, 31, 384 – 396.
- Lewis, M. D. (2000). The promise of dynamic systems approaches for an integrated account of human development. *Child Development*, 71, 36–43.
- Miller, P. H., & Coyle, T. R. (1999). Developmental change: Lessons from microgenesis. In E.K. Scholnick, K. Nelson, S. A. Gelman, & P. H. Miller (Eds.), *Conceptual development: Piaget's legacy* (pp.209–239).Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Molenaar, P.C.M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science : bringing the person back into scientific psychology, this time for ever. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 2(4), 201–218.
- Ossa, J. C., & Puche-Navarro, R. (2010). Modelos bayesianos y funcionamientos inferenciales complejos. *Acta Colombiana de Psicología*, 13(2), 119–128.
- Ossa, J., C. (2011). Funcionamiento cognitivo: Un inextricable juego de pérdidas y ganancias. *Acta Colombiana de Psicología*, 14(2), 45-55.
- Piaget, J. (1973). El punto de vista de Piaget. En Delval, J. (Comp.). *Lecturas de Psicología del niño* , (pp.167-1859). Madrid: Alianza.

- Puche Navarro, R. (2008). Érase una vez el desarrollo. En J. Larreamendy-Joerns, R. Puche-Navarro, A. Restrepo-Ibiza (Comps.), *Claves para Pensar el cambio: Ensayos sobre psicología del desarrollo*. Bogotá: Editorial Universidad de los Andes.
- Puche-Navarro, R. & Marti, E. (2011). Metodologías del cambio. *Infancia y Aprendizaje*, 34(2), 131-139.
- Puche-Navarro, R. (2004). Graphic jokes and children's mind: an unusual way to approach children's representational activity. *Scandinavian Journal of Psychology*, 45(5), 343-355.
- Puche-Navarro, R. (Ed.). (2005). *Formación de herramientas científicas en el niño pequeño* [Formation of scientific tools in the young child]. Cali: Arango Editores.
- Puche-Navarro, R., Combariza, E., & Ossa, J. C. (2012). La naturaleza no lineal de los funcionamientos inferenciales: Un estudio empírico con base en el humor gráfico. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 30(1), 27-38.
- Puche-Navarro, R., Combariza, E., & Ossa, J. C. (2012). La naturaleza no lineal de los funcionamientos inferenciales: Un estudio empírico con base en el humor gráfico. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 30(1), 27-38.
- Puche-Navarro, Rebeca (2003). *El niño que piensa y vuelve a pensar*. Cali: Artes Gráficas del Valle.
- Rose, L.,T., & Fischer, K.W., (2009). Dynamic Development: A neo-piagetian approach. In U. Muller, J. Carpendale, & L. Smith, (Comps.), *The Cambridge companion to Piaget* (pp. 400-421). Cambridge: University Press.
- Siegler, R. S. (2006). Microgenetic analyses of learning. In W. Damon & R. M. Lerner (Series Eds.), & D. Kuhn & R. S. Siegler (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2: Cognition, perception, and language* (6th ed., pp. 464 –510). Hoboken, NJ: Wiley.
- Siegler, R.S. (2000). The rebirth of children's learning. *Child Development*, 71, 26-35.
- Siegler, R.S. (2002). Microgenetic studies of self-explanations. In N. Granott & J. Parziale (Eds.), *Microdevelopment: Transition processes in development and learning* (pp. 31-58). New York: Cambridge University.
- Siegler, R.S. (2007). Cognitive variability. *Developmental science*, 10(1), 104-109.

- Smith L.B., & Thelen E. (2003). Development as a dynamic system. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 343–348.
- Smith, L.B. (2005). Cognition as a dynamic system: Principles from embodiment. *Developmental Review*, 25(3-4), 278-298.
- Spencer, J.P., & Perone, S. (2008). Defending qualitative change: the view from dynamical systems theory. *Child development*, 79(6), 1639–47. doi:10.1111/j.1467-8624.2008.01214.x
- Stephen, D.G., & Dixon, J.A. (2009). The self-organization of insight: Entropy and power laws in problem solving. *Journal of Problem Solving*, 2, 72-101.
- Stephen, D.G., Dixon, J.A., & Isenhower, R.W. (2009). Dynamics of representational change: Entropy, action, and cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(6), 1811-1832.
- Thelen, E., & Smith, L. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Thelen, E., & Smith, L. (1998). Dynamic systems theories. In W. Damon (Editor-in-Chief) & R. M. Lerner (Vol. Ed.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (5th ed., pp. 563–634). New York: Wiley.
- Valsiner, J., Molenaar, P.C.M., Lyra, M.C.D.P., & Chaudhary, N. (Eds.) (2009). *Dynamic process methodology in the social and developmental sciences*. New York: Springer.
- Van Geert, P. & van Dijk, M. (2002). Focus on variability: New tools to study intra-individual variability in developmental data. *Infant Behavior & Development*, 25, 340-374.
- Van Geert, P. (1994). *Dynamic systems of development. Change between complexity and chaos*. New York: Harvester.
- Van Geert, P. (2003). Dynamic systems approaches and modeling of developmental processes. In J. Valsiner & K. J. Conolly (Eds.), *Handbook of developmental Psychology* (pp. 640-672). London: Sage.
- Van Geert, P. (2008). Complex dynamic systems of development. In R. A. Meyers (Series ed.), *Encyclopedia of Complexity and System Science: Vol. 2. Applications of physics and mathematics to social science*. New York: Springer (in press).

- Van Geert, P. (2008). Nonlinear-Complex-Dynamic-Systems in developmental psychology. In S. Guastello, M. Koopmans, & D. Pincus (Eds.). *Chaos and Complexity in Psychology - The Theory of Nonlinear Dynamical Systems* (pp. 242-281). Cambridge: Cambridge University Press.
- Yan, Z., & Fischer, K. (2002). Always under construction: Dynamic variations in adult cognitive development. *Human Development*, 45, 141–160.
- Yan, Z., & Fischer, K. W. (2007). Pattern emergence and pattern transition in microdevelopmental variation: Evidence of complex dynamics of developmental processes. *Journal of Developmental Processes*, 2(2), 39-62.

BALANCE

La investigación presentada sustenta la definición del pensamiento científico como un funcionamiento cognitivo auto-dirigido, y caracterizado por la construcción de inferencias. Estas inferencias en el funcionamiento de la experimentación están basadas en evidencia, y se apoyan en mapas que permiten relacionar la información.

Los resultados muestran que a partir de las acciones de los sujetos en la resolución de las tareas que demandan la puesta en marcha del funcionamiento de la experimentación, se puede seguir las trayectorias de desarrollo de la comprensión acerca de los fenómenos con los que interactúan. A continuación se hace un balance general de los hallazgos más importantes, al tiempo que se intenta sintetizar las respuestas a las preguntas que guiaron la construcción de los capítulos

El pensamiento científico como metáfora: una vía de aproximación desde los SDNL

La revisión de la literatura realizada permite recoger el debate sintetizado por Puche-Navarro (2001), acerca de dos conceptualizaciones para el abordaje del pensamiento científico. Dichas concepciones son la perspectiva analógica y la perspectiva metafórica. Este debate, recuperado en la revisión, pone de manifiesto una discusión subyacente al estudio mismo del desarrollo. Esta discusión enfrenta dos posiciones. Por un lado, están las concepciones dirigidas a tratar de describir las capacidades y adquisiciones de los niños por medio del establecimiento de itinerarios de desarrollo, en función de la construcción de comparaciones entre diversos grupos de edad. Esta concepción estaría representada por la perspectiva analógica.

En contraste, un segundo tipo de posturas está integrado por aquellas perspectivas que intentan recuperar el funcionamiento del niño tratando de hacerlo desde el propio funcionamiento y evitando en lo posible el sesgo de un modelo superior y externo. Estas posiciones tienen como objetivo caracterizar los procesos complejos subyacentes al cambio, los cuales se caracterizan por no ser necesariamente acumulativos o lineales. Además, estas perspectivas reconocen la coexistencia de múltiples tipos de funcionamiento, y la importancia de la variabilidad en el estudio del desarrollo. Esta concepción corresponde a la perspectiva metafórica.

La presente investigación se sitúa desde el segundo tipo de posturas. Esto se debe, en gran medida, a la consideración de las limitaciones que subyacen a las concepciones que presentan el funcionamiento del pensamiento científico del niño en términos de capacidades formalizadas, o contrastándolo con modelos adultos. Dichas limitaciones tienen que ver con una comprensión del niño como sujeto en déficit, a quien siempre le faltará algo para alcanzar el pensamiento adulto, o estará en un estado previo a una comprensión adecuada del mundo.

En contraste, y partiendo de una mirada metafórica del pensamiento científico, dicho funcionamiento podrá definirse como organizado y auto-dirigido. El pensamiento científico en los niños estará caracterizado por la construcción de inferencias, basadas en evidencia, y apoyadas en modelos del mundo a partir de los cuales los sujetos categorizan los datos relativos a los fenómenos con los que interactúan. Esta aproximación tiene implicaciones tanto teóricas como metodológicas para el estudio del desarrollo del pensamiento científico. En primera instancia, hace necesario un abordaje que supone los procesos del desarrollo como fenómenos complejos, que recuperan la interacción entre los componentes del pensamiento científico, de modo que se pueda dar cuenta de la estructura dinámica de dicho proceso.

En términos generales, desde la perspectiva metafórica se hace pertinente un marco de referencia que permita estudiar el complejo entrelazamiento de los procesos de razonamiento causal, coordinación de los efectos de múltiples variables y evaluación de evidencia. Adicionalmente, es importante una perspectiva que permita caracterizar el cambio en el pensamiento científico tanto en escalas de tiempo corto como en escalas de tiempo largo. Dentro de la perspectiva de esta investigación, los sistemas dinámicos no lineales abren una posibilidad interesante a este respecto. Los SDNL permiten caracterizar el desarrollo del pensamiento científico, y en particular del funcionamiento de la experimentación, a partir de las descripciones de las trayectorias de cambio en tiempo real. Estas descripciones son analizadas a partir de conceptos como la auto-organización, la emergencia de nuevos estados de atractor a lo largo de trayectorias variables, y la correlación entre cambio continuo y discontinuo.

Los SDNL abren posibilidades que trascienden aquellas de los abordajes tradicionales basados en miradas estáticas enfocadas en dar cuenta solamente de las habilidades que poseen o que les faltan a los niños cuando se comparan con el pensamiento científico formalizado y adulto. En contraste, los SDNL permiten una caracterización del pensamiento científico como un sistema dinámico que está compuesto por múltiples componentes en interacción, y que tiene su propia naturaleza. En dicho sistema el cambio emerge en el tiempo como producto de la interacción entre sus componentes.

Patrones de cambio inter-individual: una aproximación a caracterización del funcionamiento de la experimentación.

Un abordaje que parte de la no ergodicidad del sistema cognitivo en el funcionamiento de la experimentación es uno de los aportes más relevantes de esta investigación. Ésta no ergodicidad está ligada a la variabilidad y se manifiesta en una aproximación metodológica basado en series de tiempo que recupera los

desempeños variables de los sujetos (Molenaar, 2004). Las técnicas tradicionales, que abordan el funcionamiento cognitivo como un fenómeno homogéneo no pueden dar cuenta del comportamiento de esta variabilidad. El carácter no-ergodico del micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación plantea una serie de consecuencias para la investigación del desarrollo en psicología. En primer lugar, cuestiona los estudios basados en la extrapolación de la variación inter-sujetos a las variaciones que se observan en los itinerarios de desarrollo individuales.

Esta extrapolación (que se manifiesta en los estudios que comparan poblaciones según grupos de edades) resulta insuficiente para dar cuenta del funcionamiento de la experimentación, ya que ambas formas de la variación (intra e inter-individual) corresponden a dinámicas distintas, aunque complementarias, que se despliegan de modo iterativo y auto-organizado en el marco de un sistema dinámico complejo y no lineal.

En segunda instancia, y en relación con lo anterior, siguiendo a Valsiner et al. (2009), la no ergodicidad del desarrollo cognitivo exige que se lo estudie por medio del análisis de series de tiempo. En consecuencia, el uso del método microgenético, a partir de mediciones repetidas del funcionamiento de los sujetos, junto con un análisis desde la teoría de sistemas dinámicos no lineales, realizado sobre series densas de datos, hace posible una caracterización más consistente con el fenómeno del desarrollo cognitivo.

El abordaje clásico utilizado en la primera parte de la investigación (n=37) como contraste de la perspectiva de sistemas dinámicos no lineales permitió observar una complejización en la comprensión de los niños acerca de la manera en que opera el sistema con objetos en movimiento. Sin embargo, este tipo de análisis no permitió observar detalladamente el desarrollo del proceso que lleva a dicho avance. Tampoco fue posible observar por este medio cuáles fueron las dinámicas

que subyacían a las trayectorias variables (caracterizadas por retrocesos) y no acumulativas que presentaron los funcionamientos de los niños.

Posteriormente, la técnica de Varclus permitió avanzar en la caracterización del pensamiento científico como un sistema no ergódico. Esto se manifestó a través de la exposición de un escenario no homogéneo de agrupaciones, organizadas según las trayectorias de los sujetos con respecto a niveles de desempeño e índices de error. Con esta técnica intermedia fue posible describir diferentes patrones inter-individuales de cambio en el funcionamiento de la experimentación.

Dentro de este escenario se identificaron tres patrones típicos de funcionamiento de la experimentación en relación con los indicadores de desempeño del funcionamiento de la experimentación. Estos patrones pueden ser descritos como: “recuperación después de la tarea B” (patrón en U), “linear estable después de la tarea B”, y “ligera caída en el desempeño, seguida de un incremento significativo del mismo”.

Un aspecto importante para completar el panorama de la no ergodicidad del funcionamiento de la experimentación compete a la variación del desempeño entre tareas, la cual ha sido identificada a partir de las trayectorias de desempeño. Pese a que las tres tareas comparten una estructura equivalente, existen diferencias entre los indicadores de desempeño para cada una de ellas. La tarea B es la más difícil para la mayor parte de los participantes. Esto supone que los niños comprenden, en la mayoría de los casos, cada versión como un problema distinto.

Estas diferencias abren nuevas hipótesis de investigación con respecto a la influencia del contenido de las tareas sobre la forma de la comprensión particular del fenómeno físico que los niños están intentando comprender durante la experimentación. Este tipo de demandas de naturaleza de dominio específico podría tener una influencia importante en el sistema como un todo, y daría cuenta en cierta medida de los patrones de variabilidad encontrados.

De lo anterior se deduce que la experimentación no se reduce a la aplicación de una estrategia específica, sino que opera de modo complejo a partir de la interacción de múltiples elementos que forman el sistema que emerge cuando el niño intenta comprender un fenómeno complejo. Este funcionamiento complejo se da a partir de constantes fluctuaciones en los desempeños. Tales fluctuaciones están determinadas por múltiples factores que afectan la interacción entre los sujetos y los sistemas complejos con los que interactúan para comprenderlos, dando lugar al carácter multi-causal del desarrollo (Smith & Thelen, 2003).

Trayectorias de micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación

Como se afirmó anteriormente, la no-ergodicidad del funcionamiento de la experimentación plantea la necesidad de hacer uso de un abordaje metodológico coherente con ésta. Este abordaje se caracteriza por hacer uso de técnicas de los sistemas dinámicos no lineales (las cuales aún no son muy conocidas en la investigación psicológica), en combinación con otras que ya cuentan con una cierta tradición reciente, tales como el tratamiento en medidas repetidas de carácter longitudinal que se conoce como método micro-genético.

El abordaje microgenético mostró sus virtudes al ser combinado con técnicas de los SDNL (como las rejillas de estado de espacio y las gráficas MIN-MAX). De esta manera fue posible caracterizar los cambios en el funcionamiento de la experimentación en los sujetos, y se abrió una vía para la exploración del pensamiento científico desde un paisaje no previsto por las metodologías y las técnicas tradicionales.

Finalmente, las técnicas desde los sistemas dinámicos permitieron reconstruir las trayectorias de micro-desarrollo del funcionamiento de la experimentación. Estas trayectorias fueron analizadas bajo la forma de series de tiempo. A partir de dichas trayectorias se llevó a cabo una caracterización de los 'rangos' de variabilidad

correspondientes al funcionamiento de la variabilidad, y de la manera en que estos cambian a lo largo del tiempo.

Así mismo, se encontró que el funcionamiento de la experimentación requiere el uso de un conjunto de capacidades complejas. La experimentación se concibe como la actividad por medio de la cual, al interactuar con situaciones de resolución de problemas que involucran razonamientos u operaciones inferenciales, los niños buscan y encuentran, de manera controlada, las regularidades de un sistema. Este tipo de funcionamiento cognitivo permite a los niños: a) dar cuenta de la interacción entre las múltiples variables causales del sistema, b) poner en relación información relevante sobre el funcionamiento de las variables del sistema, c) evaluar evidencia obtenida al interactuar con dichas variables; y d) identificar las relacionales causales que subyacen a la estructura de la tarea. Los datos revelan que el desarrollo del funcionamiento de la actividad experimental del sujeto no sigue estadios específicos en una sucesión lineal. Lo que se encuentra son fases, algunas veces recurrentes, que interactúan y se apoyan mutuamente a lo largo de los itinerarios del funcionamiento de la experimentación.

En general, se observó que la comprensión de los niños acerca de la manera en que opera el sistema con objetos en movimiento tiende a hacerse más compleja a medida que avanza la experimentación. No obstante, dicha comprensión no fue producto de un crecimiento lineal, producto del simple ejercicio o experiencia, sino más bien de la emergencia y la autorregulación de un sistema en un proceso dinámico.

Atractores y autorregulación en el funcionamiento de la experimentación.

Finalmente, fue posible caracterizar la relación que existe entre la variabilidad y la tendencia del sistema cognitivo a gravitar en torno a determinadas zonas de atractores. Este concepto permitió definir el cambio el funcionamiento de la experimentación como el resultado de la transición de un estado a otro del

sistema, transitando a un nuevo estado de equilibrio dinámico. Es posible plantear que dicha transición está relacionada con una autorregulación del sistema cognitivo. Se abre así la vía para complementar teóricamente los planteamientos de los SDNL con el concepto de autorregulación cognitiva. La autorregulación cognitiva en el caso de la experimentación se manifestó por medio de la coordinación dinámica de la evidencia empírica y las hipótesis generadas por los niños (en muchos casos representacionalmente implícitas), a través de desempeños inferencialmente coherentes y puestos en marcha de una manera consistente. Tal y como lo plantea Piaget (1973), la autorregulación no puede ser únicamente explicada como dependiente de la experiencia directa o de la instrucción. Desde los sistemas dinámicos no lineales, la emergencia de la autorregulación, en el funcionamiento de la experimentación, es susceptible de ser entendida por medio del principio de auto-organización, que implica la capacidad del sistema cognitivo de cambiar en la forma de “estados preferidos” débilmente ensamblados o atractores.

En este caso, la autorregulación se manifiesta como una propiedad funcional del sistema que emerge como nuevas formas de organización, producto de la interacción de los elementos del sistema, entre los que se incluyen la comprensión que alcanza el niño en tiempo real, su conocimiento previo, la retroalimentación de sus propios acercamientos al sistema de objetos en movimiento, etc.

A través de las manifestaciones de la emergencia y la auto-regulación se hace posible estudiar las trayectorias de micro-desarrollo y comprender las regularidades en dichas trayectorias como fases de equilibrio dinámico del sistema, que se presentan bajo la forma de atractores. Los itinerarios del funcionamiento de la experimentación a través de los cuales se manifiestan la emergencia y la autoorganización presentan una naturaleza variable, lo que implica la no linealidad del pensamiento científico y el funcionamiento de la experimentación.

La variabilidad que fue identificada por medio del análisis micro-genético de la experimentación en tiempo real puede ser concebida, confirmando a Puche-Navarro (2005), como una característica fundamental e inherente del pensamiento científico(quizás también en otros dominios como el histórico o matemático). Esta variabilidad da cuenta de la flexibilidad que el sistema cognitivo requiere para cambiar en el tiempo. El cambio se presenta tanto de manera abrupta en el corto plazo (es decir, bajo la forma de cambio discontinuo, que tiene lugar a través de las auto-organizaciones que se suceden durante la interacción del niño con una situación de resolución de problema), como de manera progresiva (bajo la forma de una continuidad que se establece por medio del aumento de la probabilidad de que niveles altos de experimentación, ligados a estados de atractor específicos, tiendan a emerger). En este sentido, para esta investigación, el concepto de atractor fue de vital importancia, dado que permite avanzar en la comprensión del cambio en términos probabilísticos y dinámicos. Este concepto permite comprender cómo características del cambio aparentemente contradictorias, tales como la variabilidad y la regularidad, y la continuidad y la discontinuidad, cobran sentido si se las concibe como propiedades complementarias en un espacio probabilístico de desarrollo.

De este modo, la variabilidad implica la co-existencia y probabilidad recursiva de aparición de formas básicas y avanzadas del funcionamiento de la experimentación. Dicha coexistencia estaría en directa relación con la tendencia del sistema a oscilar, de manera no lineal, hacia formas más estables de organización. De esta manera el sistema encuentra nuevas maneras de operar y autorregularse conforme avanza el proceso de exploración e interacción de los niños con las situaciones de resolución de problema. El considerar la variabilidad como un fenómeno de primer orden permite avanzar en la comprensión de las regularidades intrínsecas al funcionamiento de la experimentación. El abordaje de la presente investigación permitió identificar las tendencias locales y los rangos de variabilidad de las trayectorias de micro-desarrollo (usando la técnica de Min-Max).

También se identificaron las transiciones entre los diferentes rangos de estados de atractor que tienen lugar durante la experimentación (usando las rejillas de estado de espacio). Por medio de estas transiciones se puede describir el funcionamiento cognitivo en términos de probabilidades de cambio. Este funcionamiento de la variabilidad del pensamiento científico puede ser explicado como expresión de la condición aún frágil de los nuevos estados de atractor, que están ligados a nuevos funcionamientos cognitivos específicos. Como producto de lo anterior, se genera la oscilación continua entre distintos niveles de experimentación, que fue observada a lo largo del estudio. Esta oscilación respondería a una dinámica de constante construcción y colapso de las diversas organizaciones del sistema. Dicha dinámica va de la mano con la influencia de las demandas y los cambios que se presentan en la situación de resolución de problema. Esta fragilidad funcional de las auto-organizaciones del sistema cognitivo es la responsable de que un procedimiento o funcionamiento cognitivo no sea automáticamente generalizado a través de las diferentes versiones de las tareas. Esto se debe a que cambios menores en la situación ocasionan la caída del sistema cognitivo hacia niveles más bajos de experimentación. Estos cambios también hacen posible que el sistema pueda reconstruirse constantemente a sí mismo, siguiendo un proceso similar al descrito por Fischer y Bidell (2006).

Se confirmó, además, que los rangos de variabilidad de los participantes cambian durante todo el proceso de experimentación. Esta variabilidad se ubica en diferentes niveles de experimentación, con diferentes rangos de amplitud. También se observó, a través del análisis de las trayectorias de desempeño, que la variabilidad no implica un principio de desorden en el sistema cognitivo, sino que representa la forma en que se lleva a cabo un proceso de razonamiento caracterizado por el cambio, la re-organización constantes y oscilaciones no lineales, que en conjunto subyacen a una tendencia del funcionamiento de la experimentación hacia la estabilización del sistema.

En este contexto las trayectorias podrían ser interpretadas como espacios probabilísticos de carácter tridimensional. En estos espacios el funcionamiento de la experimentación transitaría a través de tres ejes. El eje X correspondería al tiempo, el eje Y correspondería al nivel de funcionamiento cognitivo, y el eje Z daría cuenta de la probabilidad de que el sistema oscile en adelante en torno a un determinado estado de atractor. De ahí que las reorganizaciones presenten un carácter no lineal y sigan un patrón general de tendencia a la estabilización en la relación entre el sujeto y la tarea. Dicha estabilización progresiva, dada la complejidad y no ergodicidad del sistema cognitivo, no equivale a la consecución de un estado final y estático. La tendencia del sistema a la oscilación sirve para que éste tienda a movilizarse hacia niveles de funcionamiento de la experimentación más altos y mejor ajustados a la estructura de las tareas.

Conclusión general

Los resultados demuestran que los niños en edad pre-escolar son capaces de hacer uso, de manera auto-dirigida y compleja, de las actividades cognitivas relativas al pensamiento científico. Durante este proceso el funcionamiento de la experimentación de los sujetos no responde, necesariamente, al patrón ideal que caracteriza a las actividades que realiza un científico adulto. Sin embargo, es importante señalar que la racionalidad operada en los niños corresponde a la de un razonamiento eficiente y adecuado al fin propuesto.

Dicho funcionamiento es producto de un proceso complejo, que se moviliza en la forma y bajo las propiedades funcionales de un sistema dinámico. La caracterización de este tipo de funcionamiento se acerca a uno de los propósitos clásicos de la psicología del desarrollo, que consiste en la explicación de las dinámicas en tiempo real del cambio, y a la de la manera en que funcionamientos novedosos emergen, dentro de la polaridad continuidad-discontinuidad, a partir de organizaciones previas del sistema cognitivo. Esto implica entender que el pensamiento científico, al igual que cualquier otro sistema dinámico, funciona en

múltiples escalas de tiempo, con muchos componentes interactuando entre sí, los cuales están abiertos a la influencia del medio externo. Mientras se llevan a cabo estas dinámicas el sistema se moviliza, a través de diversas fluctuaciones y oscilaciones en torno a estados de atractor, hacia formas comportamentales coherentes de alto orden. Estas nuevas formas de auto-organización, que emergen a lo largo del funcionamiento de la experimentación, retroalimentan el sistema y se convierten a su vez en elementos determinantes de las probabilidades de cambio (Smith & Thelen, 2003).

Para finalizar, a partir de esta investigación se pueden plantear algunas ideas para investigaciones futuras. Sería interesante, por ejemplo, explorar el funcionamiento de la experimentación en contextos que impliquen la colaboración entre pares o a partir de un andamiaje experto. Adicionalmente, se podrían indagar las diferencias en el funcionamiento entre tareas que presentan sistemas con soporte digital y tareas que presentan sistemas físicos, teniendo en cuenta la recolección y análisis de verbalizaciones a ser contrastadas con las acciones de los niños. Otros aspectos bastante interesantes a explorar tienen que ver con la transferencia de conocimiento y la relación entre contenido de las tareas en la comprensión de los niños. Las ideas anteriormente se podrían abordar desde los SDNL a partir de un análisis de trayectorias en series de tiempo. Todas estas aproximaciones, y algunas otras permitirían ampliar el panorama y enriquecer la comprensión del sistema dinámico descrito hasta aquí.

Referencias

- Fischer, K.W., & Bidell, T.R. (2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Theoretical models of human development. Handbook of child psychology* (6th ed., Vol. 1, pp. 313-399). New York: Wiley.
- Molenaar, P.C.M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science : bringing the person back into scientific psychology, this time for ever. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 2(4), 201–218.

- Piaget, J. (1973). El punto de vista de Piaget. En Delval, J. (Comp.). *Lecturas de Psicología del niño*, (pp.167-1859). Madrid: Alianza.
- Puche-Navarro, R. (Ed.). (2005). *Formación de herramientas científicas en el niño pequeño* [Formation of scientific tools in the young child]. Cali: Arango Editores.
- Smith L.B., Thelen E. (2003) Development as a dynamic system. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 343–348.
- Valsiner, J., Molenaar, P.C.M., Lyra, M.C.D.P., & Chaudhary, N. (Eds.) (2009) *.Dynamic process methodology in the social and developmental sciences*. New York: Springer.